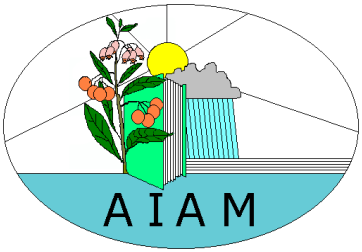
AIAM
ASSOCIAZIONE ITALIANA DI AGROMETEOROLOGIA

L'AGROMETEOROLOGIA NEL MEDITERRANEO

ATTI DEL
CONVEGNO NAZIONALE DI
AGROMETEOROLOGIA
AIAM 2002

Acireale, 6-7 giugno 2002



AIAM – Associazione Italiana di Agrometeorologia
CF e PI 94064650487
Sede legale Via Caproni, 8 Firenze
Sede operativa Via Modigliani, 4 Milano tel 02/4238410
sito web http://aiam.istea.bo.cnr.it

Soci sostenitori dell'Aiam
Alsia Molise
Arpa Emilia Romagna
Arssa Calabria
Cae
Centro Servizi Agricoli del Friuli - Venezia Giulia
Ersaf Lombardia
hh di Ossani - manutenzione e assistenza in meteorologia
Istituto Agrario di San Michele All'Adige
Istituto Agronomico Mediterraneo
Lsi Lastem
Misurando
NEC Italia

Edizione a cura di Luigi Mariani
Il curatore ringrazia i colleghi agrometeorologi siciliani che con il loro impegno hanno reso possibile AIAM2002 e tutti coloro che con la loro disponibilità hanno consentito l'edizione degli atti.

INDICE

Introduzione
L.Mariani *pag. 5*

Consegna del Premio per tesi di laurea in agrometeorologia *pag. 7*

Il contributo di Virgilio Pelosi all'agrometeorologia
L.Mariani *pag.8*

Sessione I - Variabilità climatica e desertificazione

Alterazione di alcuni caratteri del regime pluvio-termometrico siciliamo nel periodo 1916-1999
C. Agnese, V. Bagarello, G. Nicastro *pag. 18*

Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia
S. Carnemolla, A. Drago, M. Perciabosco, F. Spinnato *pag. 32*

L'epoca di fioritura in specie arboree in un contesto di variabilità climatica: il caso del melo
E. Eccel, G. Toller *pag. 46*

Uso del parametro di bagnatura fogliare nella previsione delle malattie delle piante
A. Dalla Marta, R. Alilla, A. Cicogna, S. Dietrich, R. Fabbo, M. Gani, R. Giovanardi, G. Maracchi, S. Orlandini, M. Sandra, M. Severini *pag. 56*

La variabilità della temperatura e della precipitazione come fattore agricolo
C.Pona, G.Fontana, G.Sourkova *pag. 67*

Alcune considerazioni di tipo agroclimatico su serie storiche della Sicilia orientale
L.Mariani, M.Maugeri *pag. 82*

Aridità dei suoli e rischi per l'attività vegetativa delle colture erbacee e della flora pabulare dei pascoli nel bacino del fiume Salso (Sicilia centro-meridionale).
S. Raimondi, R. Scalenghe, A. Indorante, D. Tusa *pag. 94*

Sessione II - L'agrometeorologia per le colture protette e l'irrigazione

Descrizione delle modalità di funzionamento di un apparecchio dosatore dell'irrigazione in tunnel
G. Toller, L. Mattivi *pag. 111*

Variabilità climatica e fabbisogni irrigui della vite da vino in alcuni comprensori viticoli della regione Abruzzo
B. Di Lena *pag. 120*

Relazioni tra variazioni climatiche, risorse idriche e produzioni in Capitanata nell'ultimo decennio
M. Rinaldi, P. Soldo , G. Tucci, G. Rana *pag. 132*

La siccità in Italia: spunti di discussione sul clima, sugli aspetti pedoclimatici e sul bilancio idrico
A.Morgillo, A. Brunetti, L. Salvati *pag. 144*

Monitoraggio e previsione dei pollini allergenici in Emilia Romagna
F. Zinoni, R. Renati, T. Tonelli, A.Ranzi *pag. 151*

Confronto tra stime della evapotraspirazione di riferimento ai fini dell'assistenza tecnica irrigua in Abruzzo
B. Di Lena, M. Acutis *pag. 162*

Indici meteorologici per il calcolo del rischio d'incendio forestale
V.Marletto, F.Ventura *pag. 183*

Considerazione conclusive sui lavori
M. Borin *pag. 193*

Conclusioni
F. Salvo *pag. 195*

Indice analitico *pag. 197*

INTRODUZIONE

L. Mariani
Presidente AIAM
Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Produzione Vegetale
anamar@tin.it

Un grande letterato siciliano scriveva che quello che fa del Mediterraneo qualcosa di unico è la luce, luce di giornate di sole pieno, quando l'anticiclone fissa gli oggetti nella propria netta e vibrante essenzialità e luce di giornate di temporale, quando le nuvole, spinte dal vento africano, raccogliendosi in lento ribollire, filtrano luce di sabbia e d'acqua, una curiosa luce, che dà alle cose una superficie di raso.
E nel centro fisico del Mediterraneo si tiene quest'anno il workshop dell'AIAM, nato dalla collaborazione fra la Regione Siciliana e l'Associazione Italiana di Agrometeorologia con lo scopo di dar vita ad un'occasione d'incontro nazionale a carattere formativo - divulgativo e di fare il punto sulle attività nel settore dell'agrometeorologia, tanto nell'ambito dell'insegnamento e della ricerca che in quello applicativo e di servizio.
La scelta della Sicilia in generale e della città di Catania in particolare è legata all'opportunità di focalizzare l'attenzione degli studiosi del settore e degli operatori agricoli sulle problematiche agrometeorologiche che interessano più da vicino le aree mediterranee, anche in considerazione della crescente attività dei servizi agrometeorologici delle regioni centro-meridionali italiane. Ciò è particolarmente vero e significativo per la regione Sicilia, che si accinge ad mettere a pieno regime il Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS).
AIAM2002 vuole inoltre portare a conoscenza di un pubblico ampio il settore agrometeorologico italiano, che grazie al pluriennale impegno dei colleghi vede oggi il nostro Paese in una posizione di leader a livello europeo e mondiale.
Il tema di quest'anno presenta un particolare interesse in quanto nell'area del Mediterraneo il clima è da millenni alleato potente delle attività umane, come dimostra una fioritura di civiltà che non ha pari in nessun'altra area del mondo. Tuttavia il clima può talora trasformarsi in un nemico severo, come ci ricordano le fonti storiche che documentano il periodico verificarsi di "crisi climatiche" tradottesi ad esempio nel tracollo di antiche e potenti civiltà come quella ittita o quella micenea.
Il Mediterraneo è oggi una zona di incontro fra popoli, culture e tradizioni diverse, in cui tuttavia la vocazione allo sviluppo è messa in costante

discussione dagli elevatissimi livelli di antropizzazione del territorio che si traducono nel rischio sempre più concreto di desertificazione. Pertanto tale area può trarre un notevole giovamento dall'applicazione di tecniche agrometeorologiche evolute in grado di conciliare le attività nel settore agricolo e forestale con le esigenze dell'ambiente e dello sviluppo.

CONSEGNA DEL PREMIO DI STUDIO PER TESI DI LAUREA IN AGROMETEOROLOGIA DEDICATO ALLA MEMORIA DI VIRGINIO PELOSI

Nell'ambito di AIAM2002 si è svolta la cerimonia di consegna del premio per tesi di laurea in agrometeorologia, che quest'anno è stato conferito alla

D.ssa Giovanna Fontana

per la tesi di Laurea *"VULNERABILITÀ DELLE COLTURE CEREALICOLE ALLA VARIABILITÀ CLIMATICA. Simulazione dell'effetto dei cambiamenti climatici sulle produzioni di Triticum durum in Sicilia"*, Relatore Prof. Claudio Leto, Correlatore Dott. Carlo Pona, presentata presso L'Università degli Studi di Palermo, con la seguente motivazione:

Il lavoro affronta un argomento di notevole attualità e rilevanza tecnico-operativa, facendo ricorso a strumenti modellistici allo stato dell'arte. Particolarmente apprezzabili la coerenza dell'impianto metodologico e l'ampiezza del lavoro svolto, riferito a diversi areali di coltura del grano duro. Rilevanti anche gli aspetti problematici posti in luce nelle conclusioni del lavoro e che richiamano la necessità di approfondimenti futuri.

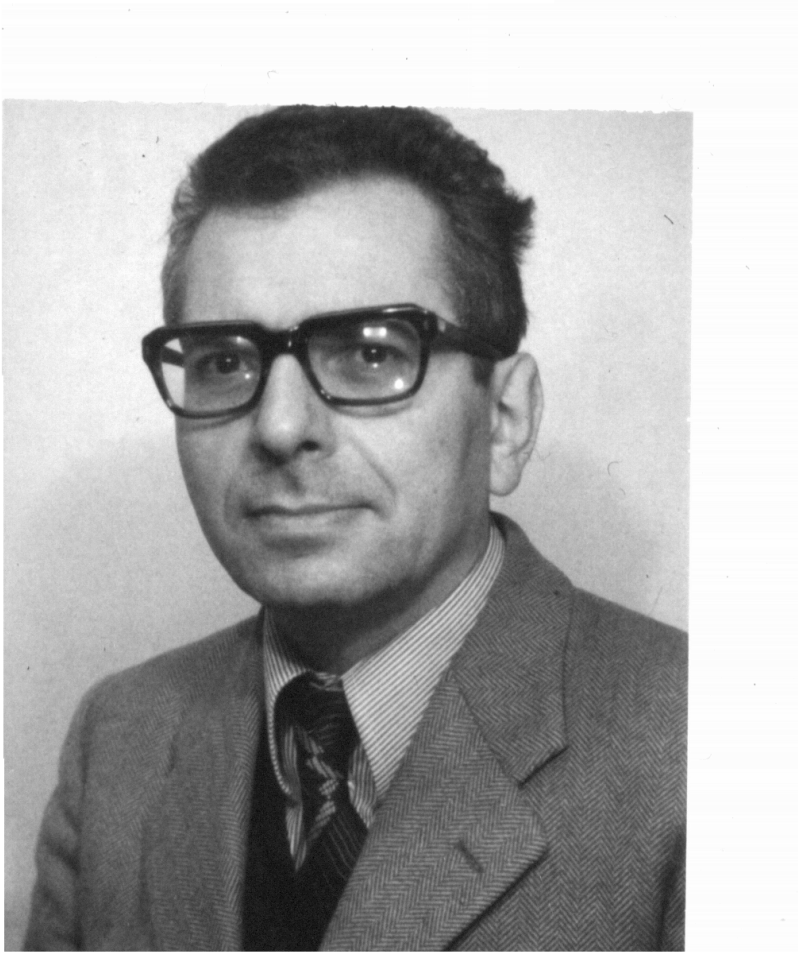
IL CONTRIBUTO DI VIRGILIO PELOSI ALL'AGROMETEOROLOGIA

L. Mariani
Presidente AIAM
Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Produzione Vegetale
anamar@tin.it

Riassunto
L'Aiam ricorda a vent'anni dalla permatira scomparsa la figura di Virginio Pelosi, pioniere delal nostra disciplina nell'ambito della ricerca e della didattica.

Abstract
The Italian Agrometeorological Association remembered, twenty years after his early death, Virginio Pelosi, pioneer of agrometeorology in Italy.

Lo scorso anno abbiamo dedicato il premio per tesi di laurea a Francesco Nucciotti intendendo richiamare all'attenzione dei colleghi una figura di agrometeorologo operativo, pioniere e fondatore di servizi.
Oggi con Virgilio Pelosi ricordiamo la figura dello scienziato e cioè dell'indagatore della natura, di colui che si "innamora" di un problema e cerca con ogni mezzo di risolverlo.
Penso che oggi il nome di Virginio Pelosi sia sconosciuto alla maggior parte di coloro che operano nel mondo dell'agrometeorologia (e cioè nei servizi, nella ricerca, nell'industria e nell'insegnamento).
Vediamo allora di ricostruirne il profilo umano e scientifico basandoci sulle fonti a nostra disposizione.
In base alla biografia la carriera professionale del prof. Pelosi appare suddivisa in due fasi principali e cioè la fase della fisica delle particelle e la fase della fisica dell'atmosfera e del terreno. A tale classificazione sfuggono i lavori svolti nel settore della fisica biomedica, che si collocano



nel periodo 1973-1976 e che sono da considerare anch'essi sintomo di una tendenza all'approccio interdisciplinare ai problemi.
Non entrerò qui nel merito delle attività condotte nel settore della fisica delle particelle e della fisica biomedica, limitandomi ad analizzare la fase dell'attività scientifica del prof. Pelosi dedicata alle materie di più stretto interesse agrometeorologico.
Il contributo scientifico del prof. Pelosi alla nostra disciplina appare focalizzato agli ambiti della meteorologia dello stato limite (boundary

layer, canopy layer) cui si aggiungono gli interessanti contributi nel settore della fisica del terreno ed in particolare della trasmissione del calore.
Da questo punto di vista il suo lavoro pare richiamarsi in modo più deciso al filone classico della micrometeorologia tedesca al cui caposcuola Rudolf Geiger (allievo del grande climatologo Wladimir Koeppen) si deve il famoso testo "The climate near the ground" la cui prima edizione risale al 1928.
Inoltre si nota l'influsso della scuola micrometeorologica inglese (Brunt, Sutton) e della scuola russa, in particolare per gli aspetti della fisica del terreno.
Con riferimento agli influssi culturali non è da trascurare la sua passione per le lingue, che lo porta ad avvicinarsi da autodidatta al tedesco e poi al russo, il che gli consente di accedere alle fonti in lingua originale.
La morte prematura, avvenuta il 29 marzo 1982, proprio vent'anni orsono, ha troncato varie iniziative fra cui ricordiamo:

- un viaggio di studio negli USA, da tempo programmato, volto ad approfondire la conoscenza delle attività in corso in quel Paese nel settore dell'agrometeorologia;
- i contatti con l'assessorato all'ecologia della Regione Lombardia centrati sulle applicazioni di micrometeorologia allo studio degli inquinanti atmosferici;
- la realizzazione di una stazione agrometeorologica sperimentale presso l'azienda della Facoltà di Agraria di Cornaredo.

In definitiva emergono i tratti di una personalità scientifica molto attiva, più in ambito sperimentale che teorico, assai appassionata al lavoro di ricerca e tesa a stendere ponti fra aree disciplinari diverse e, in ciò, profondamente "agrometeorologica" (visto che la nostra è una scienza interdisciplinare per definizione).
Da segnalare anche la sua profonda passione per il lavoro di insegnamento e l'impegno continuo profuso in favore degli studenti impegnati in attività di tesi. Di ciò ho avuto diverse prove nel corso di questa mia ricerca. Una fra tutte ci è offerta dalla dedica che compare all'inizio della tesi del dott. Enzo Tunesi (tesi discussa nell'anno accademico 1981-82, relatore il prof. Francesco Tano e correlatore il prof. Giorgio Castelli) e che così recita: "Dedico questa mia tesi di laurea alla memoria del Prof. Virginio Pelosi con il quale ho avviato la ricerca e prematuramente scomparso. Ritengo doveroso questo atto d'omaggio per il Prof. Pelosi che è stato per me non solo un Maestro di scienza ma anche un incomparabile Maestro di vita".
Senza dubbio sulla personalità scientifica ed umana di Pelosi ha influito l'aver operato nell'ambito della scuola fisica milanese, che negli anni del secondo dopoguerra presentava forti connotati di innovatività, impersonati da figure di spicco come quelle di Polvani e Occhialini e suffragati dagli

studi sui raggi cosmici, dalle collaborazioni con CERN, INFN e CESI e dall'attivazione del primo sincrotrone di seconda generazione europeo (1965). Del Prof. Occhialini Pelosi fu assistente alla cattedra di Fisica Superiore. Da questo punto di vista è possibile affermare che Pelosi fu figlio della temperie culturale propria del periodo della rinascita economica del secondo dopoguerra, che nel nostro Paese fu anche rinascita civile, culturale, scientifica e tecnologica.
Ci potremmo ora domandare come sarebbe evoluta l'agrometeorologia italiana se il Prof. Pelosi avesse proseguito nella sua attività. In proposito penso che il suo apporto sarebbe stato di estrema utilità per una crescita armonica del nostro settore, tanto in sede nazionale che in sede regionale lombarda.
Possiamo concludere ricordando che i frutti del lavoro del Prof. Pelosi sono tuttora tangibili nei suoi scritti scientifici e nei suoi allievi che tuttora operano nel settore dell'agrometeorologia, allievi che ne conservano un ricordo indelebile e che hanno oggi il piacere di onorarne la memoria.

FONTI

- Colloquio con la Dott.ssa Elisabetta Clivati, vedova Pelosi.
- Contatti con il Prof. Tano, il Prof. Orefice, la Prof.ssa Martinetti, il dott. Zinoni.
- Curriculum dell'attività didattica e scientifica del Prof. Pelosi datato 2 maggio 1977.
- Cartella del Prof. Pelosi presso il Rettorato dell'Università degli Studi di Milano.

BREVE BIOGRAFIA SCIENTIFICA

Nato a Milano il 27/9/1934 Pelosi si diploma al liceo classico Beccaria e sempre a Milano si laurea in fisica nel 1961, discutendo la tesi "Interazioni di pioni negativi da 14 e 16 GeV/c". Nel settembre dell'anno 1961 viene nominato Assistente Volontario alla Cattedra di Fisica Superiore dell'Università di Milano e nello stesso anno ottiene una borsa di studio della Scuola di Perfezionamento in Fisica Atomica e Molecolare presso la stessa Università.
Nel 1962 vince una borsa di Studio bandita dal Ministero della Pubblica Istruzione e viene nominato Assistente incaricato alla Cattedra di Fisica Superiore.
Nel 1963 vince il concorso di Assistente di Ruolo presso la Cattedra suddetta ed è nominato Professore Incaricato del corso di Esercitazioni di Fisica Sperimentale per la laurea in Chimica Industriale presso l'Università di Milano.

Nel 1965 consegue il diploma della Scuola di Perfezionamento con voti 70/70, discutendo una tesi dal titolo “Interazioni protone-protone”.
Sempre nel 1965, tiene un ciclo di lezioni presso la Scuola di Perfezionamento della Facoltà di Agraria sui processi radioattivi.
L’attività didattica di questo periodo consiste in particolare nell’illustrare agli studenti di Fisica Superiore alcuni capitoli del Corso e nell’impostare con loro l’elaborazione di brevi relazioni su argomenti monografici collaterali. Per quanto riguarda l’incarico specifico di insegnamento affidatogli, organizza esperienze di laboratorio e presenta da un punto di vista elementare l’applicazione della teoria degli errori ai processi di misura.
L’attività di ricerca è connessa con la rivelazione di interazioni di particelle elementari dapprima mediante emulsioni fotografiche, e ciò a conclusione dei lavori iniziati con la tesi di laurea, indi con camere a bolle; sotto la guida della prof.ssa C. Dilworth e con la collaborazione della prof. L. Tallone realizza la ristrutturazione della preesistente attività in emulsioni all’Università di Milano, installando e mettendo a punto proiettori e tavoli di misura. Partecipa inoltre all’esposizione della camera a bolle a idrogeno di Saclay al P.S. del CERN.
La produzione scientifica riguarda la misura e le proprietà di interazioni p-p, w-p, p-p.
Dal 1965 al 1967 il prof. Pelosi ottiene un congedo per motivi di studio dall’Università di Milano e lavora presso la divisione camera a tracce del CERN, partecipando alla determinazione delle ampiezze d’onda parziali di interazioni Kn.
Di ritorno in Italia, nell’anno accademico 1967-1968, ricopre l’incarico di Fisica per il corso di laurea in Scienze Naturali presso l’Università di Genova e l’incarico del corso di Particelle Elementari presso la Scuola di Perfezionamento in Fisica della stessa Università ove illustra il metodo di analisi in onde parziali e i risultati sino allora conseguiti. Nello stesso anno ottiene l’idoneità al grado R/5 del1’INFN.
Nell’anno accademico 1964-1965 e negli anni accademici dal 1969-1970 al 1972-1973 gli viene assegnato l’incarico di Esercitazioni di Fisica Sperimentale per il corso di Laurea in Chimica all’Università di Milano.
Nel 1972 consegue all’unanimità l’abilitazione alla Libera Docenza in Fisica Superiore.
Dall’anno accademico 1973-1974 è incaricato di Fisica presso la Facoltà di Agraria dell’Università di Milano.
L’attività didattica si è sviluppata parallelamente tra l’incarico di insegnamento, dove cerca soprattutto di sollecitare l’interesse e la capacità critica degli studenti, la sua attività di Assistente al corso di Fisica Superiore e la guida di numerosi laureandi nella preparazione delle tesi di laurea in Fisica.

L'attività scientifica di questo periodo concerne la valutazione sperimentale della produzione di particelle strane prodotte in camera a bolle da interazioni w-p a 11 GeV/c e, come evoluzione della misura di sfasamenti in interazioni forti condotta al CERN, una linea di ricerca impostata sul cosiddetto problema inverso della diffusione, cioè l'utilizzazione diretta dei risultati sperimentali per la ricostruzione di un potenziale fenomenologico di interazione.
Dal 1970, in collaborazione con la divisione Campari dell'Ospedale Maggiore di Milano, si occupa di problemi di Meccanica Ventilatoria, interessandosi in particolare dell'elaborazione di analisi epidemiologiche e della valutazione funzionale dell'efficienza respiratoria.
Dalla seconda metà degli anni '70 i rapporti con la facoltà di Agraria si fanno sempre più stretti e danno origine alle attività del Prof. Pelosi nel settore della fisica dell'atmosfera e del terreno.
A tale proposito si ricordano in particolare:

- le attività sperimentali legate all'impiego di acque reflue da centrali termo-elettriche per l'irrigazione della risaia con campagne di misura specifiche condotte con strumentazione progettata al hoc;
- i lavori nel settore dell'agrometeorologia volti alla creazione di stazioni di monitoraggio sperimentali (in proposito si ricordano i progetti relativi alle aziende di Cornaredo e di Landriano).

Il prof. Pelosi scompare il 29 marzo 1982.

BIBLIOGRAFIA

PUBBLICAZIONI DIDATTICHE E MONOGRAFIE

1) V. Pelosi, 1968. APPUNTI SUL METODO DELLE ONDE PARZIALI, Scuola di Perfezionamento in Fisica, Genova.
2) R. Cirelli, F. Palombo, V. Pelosi, 1970. NOTE SUL PROBLEMA INVERSO NELLA DIFFUSIONE MESONE NUCLEONE, IFUM 113 AE
3) I. Iori, V. Pelosi, 1972. LE BASI DELLA STATISTICA PRATICA, Editrice Viscontea, Milano.
4) V. Pelosi, G. Vegni, 1972. TEMI DI FISICA SUPERIORE, Editrice Viscontea, Milano.
5) V. Pelosi, 1973. PROFILO STORICO DEI RAGGI X, Editrice Clued, Milano.
6) A. Orefice, V. Pelosi, 1977. LEZIONI DI FISICA, Editrice Viscontea, Milano.
7) V. Pelosi, 1979. L'equilibrio di radiazione, CLESAV, Milano.
8) V. Pelosi, 1986. Agrometeorologia, leggi fisiche per lo studio del microclima, CLESAV, Milano (edizione postuma a cura di L.Mariani)

PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

1) D. Evans, A. Hossain, F.M. Votruba, A. Wataghin, C..W. Fisher, A. Mason, V. Pelosi, L. Tallone, I. Ahmed, A. Chani, M.M. Kasim, M.A. Shaukat, F. Baldassarre, A.Calorio, D. Ferraro, 1961. PRODUCTION OF ELECTRON PAIRS BY 16 GeV/c P1ONS, Proceedings Aix—en—Provence Conf. Vol. II, pag. 79.
2) F. Baldassarre, A. Caforio D. Ferraro, A. Ferrilli, M. Merlìn, S. Semeraro, C M. Fisher, W.M. Gibson, A. Mason, W. Venus, D. Evans, A. Hossain, W.O. Lock, M.F. Votruba, A. Wataghin, M.M. Kasim, M.A. Shaukat, A. Bonetti, A. Fedrighini, A.J. Herz, V. Pelosi, A. E. Sichirollo, L. Tallone, G. Vegni, 1961. OBSERVATIONS ON THE PRODUCTION OF TWO CHARGED PIONS AT 14, 16, 17 GeV/c, Proceedings Aix—en—Provence Conf. Vol. II, pag. 427.
3) V. Pelosi, 1962. ON THE DETECTION OF SMALL SCATTERING ANGLES, Korpuscular photographìe IV, Muenchen, pag. 496.
4) C. Dilworth, A. Fedrighini, V. Pelosi, L. Tallone, 1963. ANALYSIS OF GeV/c PROTON INTERACTIONS. 1. ELASTIC SCATTERING, Proceedings of the Sienna Int. Conf. Vol. I, pag. 591.
5) J. Kidd, L. Mandelli, V. Pelosi, S. Ratti, A. Sichirollo, L. Tallone, F. Conte, G. Tomasini, 1965. A P0SSIBLE Y=2, S=0, PP π^2 RESONANCE AT 2520 MeV, Physics Letters, vol 16, pag. 75.
6) B. Coletti, J. Kidd, L. Mandelli, V. Pelosi, S. Ratti, V. Russo, L. Tallone, E. Zampieri, C. Caso, F. Conte, M. Dameri, C. Grosso, G. Tomasini, 1961. A BUBBLE CHAMBER STUDY OF INTERACTIONS AT 4 GeV/c - PART I - ELASTIC SCATTERING, SINGLE PION AND DEUTERON .PRODUCTION, Nuovo Cimento serie X, voi. 49, pag. 419.
7) L. Bodini, L. Casè, J. Kidd, L. Mandelli, V. Pelosi, E. Ratti, V. Russo, L. Tallone, C. Caso, F. Conte, M. Dameri, G. Tomasini. 1968. A BUBBLE CHAMBER STUDY OF .PR0TON-PROTON INTERACTIONS AT 4 GeV/c — .PART lI — MULTIPLE PION PRODUCTION, Nuovo Cimento serie X, voI. 58, pag. 475.
8) K. Boekmann, E. Nellen, E. Paul, I. Borecka, J. Diaz, U. Heeren, U. Liebermeister, E. Lohrmann, E. Raubold, P. Soding, S.Wolff, S. Coletti, J. Kidd, L. Mandelli, V. Pelosi, S. Ratti, L. Tallone, 1965. INVESTIGATION ON THE REACTION PP -> N33 N33 AT 5,7 AND 3,6 GeV/c, Physics Letters, vol. 15, pag. 356.
9) K. Eoekmann, B. Nellen, E. Paul, E. Wagini, I. Borecka, J. Diaz, U.Heeren, U. Liebermeister, E. Lohrmanri, E. Haubold P. Soding, 5. Wolff, J. Kidd, L. Mandelli, L. Mosca, V. Pelosi, S. Ratti, L. Tallone, 1966. ELASTIC SCATTERING, PION PRODUCTION AND ANNIHILATION INTO PIONS IN ANTIPROTON-PROTON

INTERACTIONS AT 5,7 GeV/c, Nuovo Cimento serie X, voI. 42, pag. 954.

10) E. Armenteros, P. Baillon, C. Bricman, M. Ferro-Luzzi, H.K. Nguyen, V. Pelosi, D.E. Planc, M. Schmitz, E. Burkhardt, H. Filthut, E. Kluge, M. Oberlack, R.R.Roos, R. Barloutaud, P. Granet, J. Mejer, J.L. Marjoux, F. Pierre, J.P. Porte, J. Prevost, 1968. ENERGY-INDEPENDENI PARTIAL WAVE ANALYSIS OF KN -> ΛΠ BEETWEEN 600 AND 1200 MeV/c, Nuclear Physics, B8, pag. 183.
11) E. Armenteros, P. Baillon, C. Bricman, M. Ferro-Luzzi, H.K. Nguyen, V. Pelosi, D.E. Planc, M. Schmitz, E. Burkhardt, H. Filthut, E. Kluge, M. Oberlack, R.R.Roos, R. Barloutaud, P. Granet, J. Mejer, J.L. Marjoux, F. Pierre, J.P. Porte, J. Prevost, 1968. STUDY 0F REACTION K⁻N-> Σ ππ id BETWEEN 600 AND 1200 MeV/c, Nuclear Physics B8, pag. 216.
12) E. Armenteros, P. Baillon, A.Mienten, N.H.Khan, V. Pelosi, M.Croson, C.Lauedec, J.L.Marjoux, P.Pierre, 1969. THE FORMATION OF Y1* (1665) IN THE REACTION K⁻ N -> Σ°π°, Nuclear Physics B10, pag. 459.
13) E. Armenteros, P. Baillon, P.Lexa, A.Minten, K.H.Nguyen, E.Pagiola, V. Pelosi, R.Bartoloutaud, F.Bigada, M.Crozon, C.Lauedec, J.L. Marjoux, P.Pierre, 1970. THE K⁻N INTERACTION FROM 600 TO 1200 MeV/c (IV) CROSS SECTIONS OF K⁻N REACTIONS, Nuclear Physics B18, pag. 425
14) Cirelli R., Pelosi V., 1972. BACK AND FORTH WITH PARTIAL WAVES, Lettere al Nuovo Cimento vol. 3, pag. 309.
15) M. Dameri, G. Tomasini, U. Trevisan, P. Borzatta, S. Orenstein, V. Pelosi, S.Ratti, L. Tallone Lombardi, O.Goussu, M.A.Vincent, STRANGE PARTICLE PRODUCTION IN π⁻P COLLISION AT 11.2 GeV/c LEADING TO TWO CHARGED FINAL PARTICLES, Nuovo Cimento serie XI, vol. 9 A, pag. 1.
16) S. Orenstein, V. Pelosi, S. Ratti, D. Teodoro, 1970. ANALYSIS OF SCATTERING CROSS SECTIONS, Viscontea, Milano.
17) S.Tomasini, U. Trevisan, P. Borzatta, V. Pelosi, S. Ratti, L.Tallone Lombardi, O. Goussu, M.A. Vincent, 1972. LONGITUDINAL CONFIGURATIONS OF THREE AND FOUR BODY REACTION CONTAINING STRANGE PARTICLES PRODUCED IN □⁻P COLLISIONS AT 11.2 GeV/c, Nuovo Cimento 12 A, pag. 1087.
18) V. Pelosi, 1972. ONE PION EXCHANGE AND INCLUSIVE REACTIONS, Lettere al Nuovo Cimento vol.4, pag. 502 (1972)
19) F. Palombo, V. Pelosi, SOME REMARKS ON POTENTIAL SCATTERING, Lettere al Nuovo Cimento voi. 7, pag. 33 (1973)

20) E. Longhini, L. Ma.razzini, F. Vezzoli, O. Orrù, E. Pennasi, V.Pelosi, P.L. Crenna, 1973. STUDIO DELLA FUNZIONE RESPIRATORIA IN UNA POPOLAZIONE DI LAVORATORI DI UN'INDUSTRIA SIDERURGICA, Minerva Medica. voi. 12, pag. 100 (1973)
21) V. Pelosi, F. Vezzoli, V. Mignone, G.F. Rizzato, E. Longhini, 1973. PHENOMENOLOGICAL EVALUATION OF LUNG FUNCTION TIME-CONSTANTS, Respiration voi. 30, pag. 402.
22) V. Pelosi, R. Cirelli, F. Palombo, 1973. PHENOMENOLOGICAL INTERPRETATION OF LOW ENE~RGY PION-NUCLEON SCATTERING, Nuovo Cimento vol. 17 A, pag. 587.
23) L.Marazzini, F. Vezzoli, P. Sozzi, M. Soroldoni, V. Pelosi, E. Longhini, 1973. VALORE RELATIVO DI ALCUNE PROVE FUNZIONALI PER LA DIAGNOSI DI OSTRUZIONE DELLE PICCOLE VIE AEREE, 1973. Rivista dell'Ist. Vaccinogeno e dei Consorzi Provinciali Antitubercolari — vol. 23 — pag. 391.
24) B. Gastaldi, V. Pelosi, 1974. PROPOSTE DIDATTICHE PER INTRODURRE LA FISICA DELLE COLLISIONI TRA DUE PARTICELLE, Il Giornale di Fisica — vol. XV, pag. 129 (1974)
25) F. Vezzoli, V. Pelosi, V. Mignone, L. Marazzini, E. Longhini AUTOCONSISTENCY IN VENTILATORY MECHANICS, Respiration — vol. 31, pag. 221 (1974).
26) V.Pelosi, H. Abram, 1974. PARAMETRIZATION OF LOW ENERGY PION-NUCLEON FRASE SHIFTS, Lettere al Nuovo Cimento — vol. 11, pag. 111 (1974)
27) T.Armstrong, P. Baillon, A. Boldetti, P. Booth, C. Bricman, L. Carroll, O. Costa, V. Déclais, R.Donald, D. Edwards, W.W. Evans, M. Ferro-Luzzi, B. French, J. Fry, B. Ghedini, M. Houlden, I.S. Hughes, P. Inzani, N. Jackson, P. Jenni, L.Liotta, L. Mandelli, F. Muller, A. Palano, V. Pelosi,
J.M. Perreau, V. Picciarelli, W. Range, 3. Sala, J. Séguinot, D. Stewart, L. Tallone, R. Trunbull, J. Wormald, T. Ypsilantis, 1974. PROPOSAL FOR A DETAILED STUDY OF HIGH - P_t EVENTS AT THE SPS IN THE NORTH AREA, 1974. CERN/SPSC/74—112/p 29.
28) F. Vezzoli, M. Soroldoni, L. Marazzini, V. Pelosi, E. Longhini, 1974. SIGNIFICATO SEMEIOLOGICO DELLA DIFFERENZA FRA VOLUMI POLMONARI PLETISMOGRAFICI E DA DILUIZIONE DI ELIO, 1974. L'Ospedale Maggiore di Milano — vol. 4, pag. 281.
E.Longhini, F. Vezzoli, L. Marazzini, V. Pelosi, 1974. VISIONE UNITARIA DELLA MECCANICA VENTILATORIA NELLA FISIOPATOLOGIA DEL RESPIRO, L'Ospedale Maggiore di Milano — vol. 4, pag. 315 (1974)

30) F. Vezzoli, V. Pelosi, L. Marazzini, G. Bracchi, E. Longhini, 1975. STUDIO COMPARATIVO DELL'ATTIVITA' DI ALCUNI FARMACI STIMOLANTI SULLA PERVIETA' DELLE GRANDI E DELLE PICCOLE VIE AEREE NELL'ASMA BRONCHIALE, L'Ospedale Maggiore di Milano, vol.3, pag. 1811.
31) V. Pelosi, L.C. Baroffio, F. Vezzoli, E. Longhini, 1975. SIMPLE FARAMETRIZATIONS OF MEFV CURVES, Plugers Archio, vol.359, pag. 273.
32) V. Pelosi, M. Bombana, POTENTIAL SHAPE OF π+ p INTEBACTION AT 98 MEV, 1975. Lettere al Nuovo Cimento, vol. 13, pag. 353.
33) L. Marazzini, E. Biffi, A. Fracchia, V. Pelosi, E. Longhini, 1975. CORRELAZIONE TRA Pa_0 E STATO ACIDO-BASE IN PRESENZA DI UNA COMPONENTE DI ALCALOSI ETABOLICA NELL'ACIDOSI RESPIRATORIA CRONICA, Giornale Italiano di Malattie del Torace, vol.XXIX, pag. 339.
34) F. Vezzoli, V. Pelosi, E. Longhini, 1976. L'USO DI MODELLI MATEMATICI NELLA DIAGNOSI DI ALTERAZIONI VENTILATORIE, Rendiconti della conferenza su "L'uso dei modelli nella diagnostica medica, Pavia, pag. 762.
35) V.Pelosi, 1979. VALUTAZIONE DEL REGIME TERMICO DEL TERRENO, in Atti della Tavola Rotonda su "Prospettive della fisica del terreno", Università di Milano, Istituto di Agronomia.
36) V. Pelosi, 1979. INTERDISCIPLINARIETÀ: LA FISICA DEL SUOLO, Ricerca scientifica ed educazione permanente, Univ. Di Milano, VII, 1.
37) P.L. Ghisleni, V.Pelosi, 1980. IL REGIME TERMICO DEL SUOLO, in Annali dell'Accademia di Agricoltura di Torino, vol. 122.

RAPPORTI INTERNI / TESTI NON PUBBLICATI

- V. Pelosi, <data non riportata>. PROGETTO "CAS.BA": ISTITUZIONE DI UNA STAZIONE MOCROMETEOROLOGICA DEDICATA ALL'AGRICOLTURA DA REALIZZARE PRESSO LA CASCINA BACIOCCA DI CORNAREDO, 37 pp.
- V. Pelosi. <data non riportata>. IL REGIME DI TEMPERATURA NEL TERRENO, dattiloscritto di 103 pagine + figure (manoscritto in stadio avanzato di preparazione per la stampa).
- V. Pelosi, 1981. THERMAL PARAMETERS OF A LOAMY SAND, manoscritto.
- V. Pelosi, 1981. ON THE MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS IN SOIL, manoscritto.

ALTERAZIONE DI ALCUNI CARATTERI DEL REGIME PLUVIO-TERMOMETRICO SICILIANO NEL PERIODO 1916-1999

C.Agnese, V.Bagarello, G.Nicastro
Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali, Università degli Studi, Viale delle Scienze, 90128 Palermo
bagav@unipa.it

Riassunto
Nella nota sono state esaminate alcune modificazioni del regime pluvio-termometrico avvenute in cinque località siciliane nel periodo 1916-1999. L'indagine ha evidenziato una tendenza decrescente delle precipitazioni, dovuta principalmente all'incremento dell'intervallo di tempo tra eventi successivi, e un aumento delle temperature medie, particolarmente nei mesi freddi (Dicembre-Febbraio). Per la maggior parte delle stazioni, le modificazioni più accentuate hanno riguardato le temperature minime; per alcune stazioni, però, anche le temperature massime hanno mostrato variazioni apprezzabili. I risultati ottenuti, pur necessitando di specifiche verifiche e conferme, suggeriscono che le modificazioni climatiche in atto, influendo significativamente sull'andamento temporale del contenuto idrico del suolo, possono suscitare un considerevole incremento della domanda d'acqua in agricoltura.

Abstract
Rainfall and air temperature time series collected in five Sicilian locations from 1916 to 1999 have been analyzed. Rainfall has showed a decreasing trend due to the increase of the time interval between rain events. Mean air temperature has showed an increasing trend, especially during the cold months (from December to February). In most locations, the increase of minimum air temperature has prevailed over that of maximum temperature. In some locations, maximum temperatures have also showed appreciable variations during the study period. The results obtained in this study need to be further analysed but they suggest that climatic variations can affect appreciably the soil water content and the demand for water resources for agriculture.

Introduzione

Negli ultimi decenni sono state rilevate apprezzabili modifiche di caratteri climatici in numerose località del pianeta. Estesi territori, tra cui quelli dell'Europa meridionale, stanno diventando più caldi e più secchi mentre in

altre aree si rileva una tendenza all'incremento sia delle temperature che delle precipitazioni (Smit et al., 1998; Moonen et al., 2002). Molti autori attribuiscono il riscaldamento terrestre all'intensificazione dell'effetto serra (Houghton et al., 1990) e ritengono che la tendenza al riscaldamento continuerà anche in futuro (Crisci et al., 2002) anche se la maggior parte degli studi finora condotti non consente di ritenere inequivocabilmente dimostrato un nesso causale tra i due fenomeni (Moonen et al., 2002). E' comunque ragionevole ritenere che l'alterazione del regime pluviometrico e termometrico possa avere un notevole impatto sulla risposta idrologica del suolo, condizionando ad esempio l'uso agricolo dei terreni coltivati o il regime dei deflussi fluviali e quindi la regolazione delle portate e il rischio idrogeologico. Alcuni studi, inoltre, evidenziano una chiara tendenza all'incremento del potenziale erosivo delle precipitazioni (Nearing, 2001).
Le previsioni sui cambiamenti climatici prodotti dall'intensificazione delle emissioni di gas serra si basano sull'applicazione di modelli di circolazione globale dell'atmosfera che, a causa della difficoltà di rappresentazione del fenomeno, presentano ancora elevati livelli di incertezza e frequentemente forniscono anche risultati contraddittori (Schlesinger e Mitchell, 1985; Cohen, 1991; Nearing, 2001). Si rende pertanto necessario un diffuso monitoraggio del clima, al fine sia di riconoscere sperimentalmente le modificazioni climatiche in atto che di validare localmente i modelli climatici. L'utilizzazione di una scala temporale di dettaglio per l'analisi dei dati climatici è particolarmente importante per quanto riguarda le precipitazioni, che si caratterizzano per una spiccata natura intermittente.
Il Dipartimento I.T.A.F. dell'Università di Palermo ha avviato uno studio sulle tendenze evolutive delle principali grandezze meteorologiche e agro-meteorologiche nel territorio siciliano. Nel presente lavoro si esamina l'andamento delle serie storiche della pioggia giornaliera e delle temperature mensili rilevate alle stazioni di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina, per le quali si dispone di un prolungato periodo di osservazioni pluvio-termometriche continue, a partire dal 1916.

Materiale e metodo

Sulla base delle informazioni contenute negli Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico della Regione Sicilia, nel territorio isolano, durante il periodo compreso tra il 1916 e il 1996, hanno funzionato complessivamente 359 stazioni pluviometriche. Solo 10 stazioni (2.8% del totale) hanno funzionato, però, per almeno 70 anni. Ai fini della presente indagine, si sono prescelte le stazioni di misura di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina. Le suddette stazioni sono caratterizzate dalla massima dimensione campionaria (tabella 1) e sono distribuite pressappoco uniformemente sul territorio regionale. Per tutte le stazioni si

dispone anche delle osservazioni termometriche, relativamente al periodo 1924-1996 (tabella 1). Presso il Servizio Idrografico Regionale è stato inoltre possibile reperire i dati pluviometrici e termometrici più recenti, rilevati cioè negli anni 1997-1999.

Per ciascuna stazione, sono state annotate le altezze giornaliere di pioggia, h_i (mm), non minori di 1 mm, e le corrispondenti date di occorrenza, d_i, e si sono determinati gli intertempi tra due eventi successivi $\Delta_i=d_{i+1}-d_i$ (giorni). La scala giornaliera rappresenta il massimo livello di dettaglio temporale con cui è direttamente disponibile l'informazione pluviometrica e consente di studiare esaurientemente le caratteristiche di intermittenza della pioggia. A seconda della stazione, le serie temporali comprendono da un minimo di 5111 a un massimo di 7324 eventi (tabella 1). I dati di temperatura massima, minima e media dell'aria sono stati acquisiti invece alla scala mensile, ritenuta sufficiente per riconoscere le modificazioni della temperatura intervenute negli ultimi decenni e per individuare i periodi dell'anno in cui tali variazioni tendono a concentrarsi. Per ciascuna stazione, la tabella 1 riporta gli statistici essenziali (media, μ, e coefficiente di variazione, *CV*) delle altezze giornaliere di pioggia, degli intertempi tra due eventi successivi e delle temperature medie annue dell'aria, T_a.

Per ciascuna stazione e per ciascun anno del periodo di osservazione, si è calcolato il valore medio dell'altezza degli eventi, η_j (mm), e dell'intertempo tra gli eventi, ω_j (giorni):

$$\eta_j = \frac{1}{n_j}\sum_{i=1}^{n_j} h_i \qquad (1a)$$

$$\omega_j = \frac{1}{n_j}\sum_{i=1}^{n_j} \Delta_i \qquad (1b)$$

in cui n_j è il numero di eventi dell'anno j-esimo. I caratteri di non stazionarietà delle serie temporali di η_j e ω_j sono stati quindi riconosciuti sia con un approccio puramente qualitativo che mediante l'applicazione di specifici tests statistici. In particolare, un primo indizio della eventuale presenza di trend è stato ricercato osservando l'andamento della media progressiva:

$$m_n(\eta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \eta_i \qquad (2a)$$

$$m_n(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \omega_i \qquad (2b)$$

in cui *n* è la dimensione campionaria, crescente. In assenza di trend, infatti, la media progressiva tende asintoticamente al valore della media della popolazione, per il teorema del limite centrale. Gli andamenti delle medie progressive di η_j e ω_j sono stati rappresentati in grafico in funzione del tempo. Un ulteriore indizio della eventuale presenza di trend è stato ricercato esaminando l'andamento delle medie mobili delle due variabili selezionate, per tre diverse finestre temporali (o ordini) *w*, pari rispettivamente a 5, 10 e 30 anni:

$$M_{i,\eta}^{(w)} = \frac{1}{w} \sum_{j=i}^{i+w-1} \eta_j \qquad (3a)$$

$$M_{i,\omega}^{(w)} = \frac{1}{w} \sum_{j=i}^{i+w-1} \omega_j \qquad (3b)$$

Tabella 1. Ubicazione altimetrica delle stazioni considerate, numero di anni di osservazione (N), numero degli eventi piovosi (N_{ev}), media (μ) e coefficiente di variazione (CV) delle altezze giornaliere di pioggia (h_i), degli intertempi tra due eventi (Δ_i) e delle temperature annue (T_a)

Stazione	**quota (m s.l.m.)**	**Pluviometria**						**Termometria**		
		N (anni)	N_{ev}	h_i **(mm)**		Δ_i **(giorni)**		***N*** **(anni)**	T_a **(°C)**	
				μ	***CV***	μ	***CV***		μ	***CV***
Trapani	2	83	5367	7.2	1.21	5.7	2.11	74	18.2	0.05
Palermo	31	81	6000	8.1	1.31	5.1	1.97	76	18.3	0.04
Agrigento	313	84	5111	7.9	1.37	6.0	1.97	75	17.9	0.05
Caltanissetta	570	83	5535	8.0	1.30	5.5	1.90	71	16.5	0.09
Messina	54	79	7324	10.0	1.26	4.2	1.76	73	18.5	0.03

in cui $M_{i,\eta}^{(w)}$ e $M_{i,\omega}^{(w)}$ sono la media mobile di ordine *w* rispettivamente di η e ω dall'anno *i* all'anno *i+w-1*. L'esame del grafico che riporta l'andamento delle medie mobili in funzione del tempo consente di riconoscere l'eventuale esistenza del periodo limite (ciclo) oltre il quale non si riscontrano fluttuazioni significative. Le medie mobili hanno infatti la proprietà di rimuovere le creste e le valli più pronunciate delle serie, influenzate dalle fluttuazioni casuali, in modo da evidenziare le tendenze di lungo periodo.

Infine, nell'intento di riconoscere in maniera oggettiva la presenza di un eventuale trend temporale, per entrambe le variabili si è applicato il test statistico non parametrico di Mann-Kendall (Kendall et al., 1983; Sneyers, 1990) che non pone condizioni sulla forma della distribuzione della popolazione da cui è tratto il campione. L'esistenza di una correlazione seriale positiva aumenta la probabilità che l'applicazione del test di Mann-Kendall porti al rigetto dell'ipotesi di assenza di trend quando questa è vera (von Storch, 1995; Zhang et al., 2001). Secondo von Storch (1995), per la rimozione della correlazione seriale da un set di dati ($y_1, y_2, \ldots, y_n$), è

Tabella 2 - Risultati del test di Mann-Kendall per i dati pluviometrici

Stazione	Altezze medie di pioggia, η	Intertempi medi tra due eventi, ω
Trapani	No	C
Palermo	No	C
Agrigento	No	No
Caltanissetta	No	C
Messina	D	No

No: non si è rilevato un trend
D: si è rilevato un trend decrescente
C: si è rilevato un trend crescente

necessario calcolare preliminarmente il coefficiente di autocorrelazione di lag 1, r_1. La sequenza originaria viene quindi sostituita dalla seguente sequenza, detta "pre-whitened": y_2-r_1y_1, y_3-r_1y_2, …, y_n-r_1y_{n-1}. Secondo diversi autori, l'operazione di "pre-whitening" non è necessaria per valori di $r_1 \leq 0.1$ (von Storch, 1995; Zhang et al., 2001). Nel presente lavoro, allora, i dati sono stati modificati solo nei casi in cui il coefficiente di autocorrelazione di lag 1 è risultato maggiore di 0.1. In tutti i casi, il livello di significatività prescelto è stato pari a $P = 0.05$.
Il test di Mann-Kendall è stato utilizzato anche per l'analisi delle serie temporali dei dati di temperatura. In particolare, oltre alle temperature medie annue, per le quali si sono determinati anche gli andamenti temporali delle medie mobili, si sono considerate, per ciascun mese dell'anno, le temperature massime, T_{max}, minime, T_{min}, e medie, T_{med}.

Risultati

Pluviometria

Per le cinque stazioni in esame, la tabella 2 riporta una sintesi dei risultati del test del trend. A titolo di esempio, le figure 1 e 2 mostrano, per Messina, gli andamenti temporali dei valori annui di η e ω, nonché le medie progressive e le medie mobili calcolate per entrambe le variabili. In generale, si osserva una buona corrispondenza tra le tendenze rilevate con il semplice esame qualitativo degli andamenti temporali delle due tipologie di medie e quelle emerse con l'applicazione del test statistico alle serie dei valori di η e ω. Le altezze di pioggia giornaliera hanno mostrato in genere caratteri di stazionarietà, con la sola eccezione della stazione di Messina, in cui si è rilevato un trend decrescente. Gli intertempi tra gli eventi hanno mostrato una tendenza crescente a Trapani, Palermo e Caltanissetta e sono risultati stazionari ad Agrigento e a Messina. In generale, quindi, gli afflussi meteorici hanno mostrato una tendenza alla riduzione, principalmente a

causa dell'incremento dell'intervallo di tempo compreso tra due eventi successivi di pioggia. Solo per la stazione di Agrigento, che si caratterizza per il massimo intervallo di tempo tra due eventi successivi e uno dei più bassi valori dell'altezza di pioggia per evento (tabella 1), gli afflussi meteorici hanno mostrato carattere stazionario.

Figura 1 - Stazione di Messina: a) valori medi dell'altezza di pioggia giornaliera, η_φ, per ciascun anno di osservazione e media progressiva di η_j; b) medie mobili di η_j

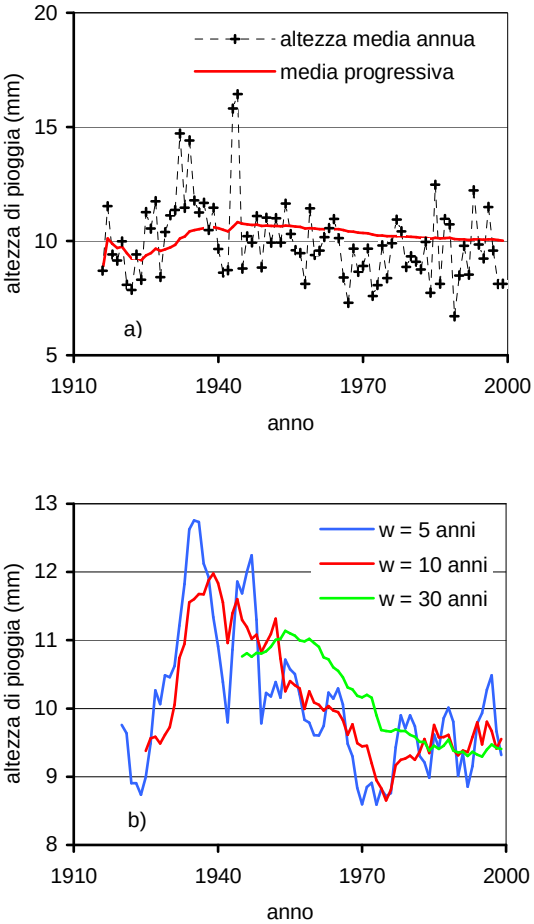
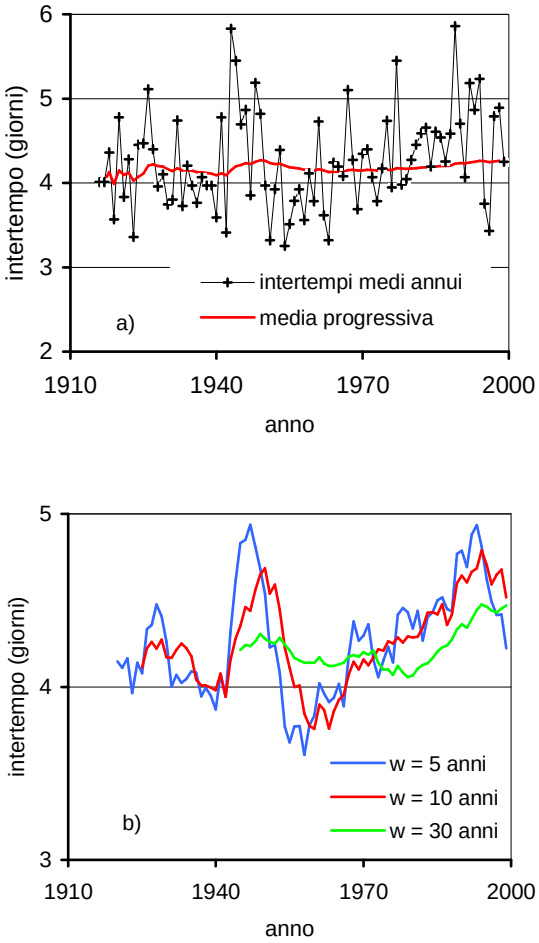


Figura 2 - Stazione di Messina: a) valori medi dell'intertempo tra due eventi successivi, ω_j, per ciascun anno di osservazione e media progressiva di ω_j; b) medie mobili di ω_j

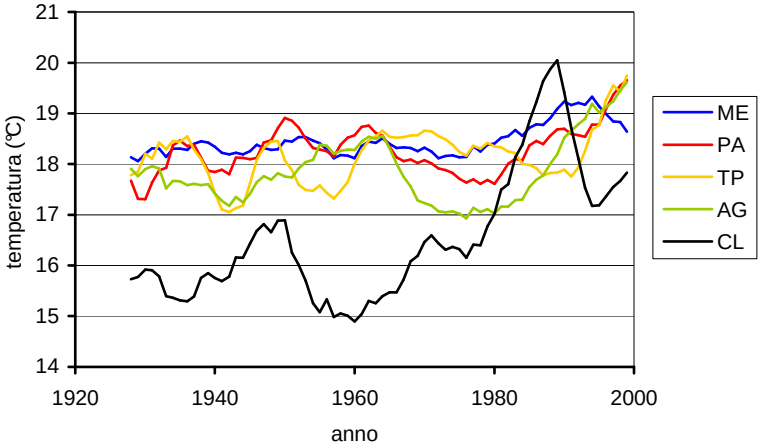


In due casi l'applicazione del test del trend ai dati originali ha portato a risultati diversi da quelli ottenuti con la rimozione della correlazione seriale. In particolare, si sono rilevati un trend decrescente delle altezze medie di pioggia a Palermo e un trend crescente degli intertempi medi tra

gli eventi a Messina. Questa discordanza necessita di specifici approfondimenti metodologici, essendo segnalato in letteratura che, con l'applicazione della tecnica di "pre-whitening", la potenza del test del trend, cioè la probabilità di rigettare l'ipotesi nulla quando questa è falsa, si riduce moderatamente solo per valori non molto elevati del coefficiente di autocorrelazione di lag 1 (von Storch, 1995; Douglas et al., 2000).
La tendenza alla riduzione complessiva delle precipitazioni è stata quantificata sinteticamente, valutando l'incremento del tempo necessario affinché si verifichi l'accumulo di una data quantità di pioggia. La suddetta grandezza tiene conto congiuntamente delle variazioni eventualmente intercorse a carico sia delle altezze di pioggia che degli intertempi tra gli eventi. Per le quattro stazioni che hanno mostrato una tendenza alla riduzione delle precipitazioni, il tempo necessario per accumulare un'altezza complessiva di pioggia di 200 mm è aumentato, nel corso del periodo esaminato, da un minimo di 6 giorni per la stazione di Messina a un massimo di un mese per quella di Palermo. Il tempo necessario per accumulare un'altezza di pioggia di 800 mm è cresciuto da un minimo di 1 mese a Caltanissetta e Messina fino a un massimo di 5 mesi a Palermo.

Termometria
Per le stazioni di Caltanissetta e Messina, il test di Mann-Kendall ha segnalato una tendenza crescente dei valori annui della temperatura media dell'aria. Per le rimanenti stazioni le serie sono risultate stazionarie. Prescindendo però dalla rimozione della correlazione seriale, anche per le stazioni di Trapani, Palermo e Agrigento si è riconosciuta una tendenza crescente. Un generale incremento, nel corso dell'ultimo ventennio, delle temperature annue è riconoscibile nel grafico di figura 3, in cui sono riportati gli andamenti temporali delle medie mobili di ordine 5 anni dei valori di T_a.

Figura 3 - Andamento temporale delle medie mobili di ordine 5 anni delle temperature medie annue per le stazioni considerate nell'indagine



L'applicazione del test di Mann-Kendall alle 180 serie temporali di dati termometrici mensili considerate in questa indagine (5 stazioni x 12 mesi x 3 variabili) ha evidenziato la presenza di trend in 82 casi (tabella 3). Prescindendo dall'operazione di "pre-whitening", si sono rilevati trend significativi per 109 serie.

Con riferimento alla temperatura media dell'aria, T_{med}, per nessuna delle 60 serie temporali esaminate si è rilevata una tendenza decrescente mentre in 26 casi (43% del totale) si è riconosciuta una tendenza crescente.

Tranne che per la stazione di Caltanissetta, in cui il suddetto trend si è rilevato per quasi tutti i mesi dell'anno, la tendenza all'incremento della temperatura media dell'aria appare concentrata soprattutto nei mesi più freddi. Nei mesi compresi tra Dicembre e Febbraio, infatti, il trend è risultato crescente in 14 casi su 15 (93% dei casi) mentre nei mesi compresi tra Marzo e Novembre la tendenza crescente si è rilevata in 12 casi su 45 (27% dei casi). L'assenza di trend nelle temperature medie dei mesi di Aprile e Luglio è una caratteristica comune a tutte le stazioni esaminate.

Per quanto concerne le 60 serie temporali della temperatura massima dell'aria, T_{max}, si è rilevata una tendenza decrescente in 3 casi (5% dei casi) e una tendenza crescente in 21 casi (35% dei casi). Con riferimento alla temperatura minima, T_{min}, invece, non si sono rilevate tendenze decrescenti mentre un trend crescente si è riconosciuto per 32 serie (53% dei casi). In generale, quindi, la tendenza crescente è più marcata per le temperature minime che per quelle massime. Il fenomeno è più evidente nella stagione calda. Infatti, nei mesi freddi (da Ottobre a Marzo), la temperatura minima è

cresciuta in 17 casi su 30 (57% dei casi) e quella massima è aumentata in 16 casi su 30 (53% dei casi). Nei mesi caldi (da Aprile a Settembre), l'incremento della temperatura minima, che è avvenuto in 15 casi su 30 (50% dei casi) è risultato decisamente più frequente di quello della temperatura massima, che si è rilevato in 5 casi su 30 (17% dei casi).

Tabella 3 - Risultati del test di Mann-Kendall per i dati termometrici

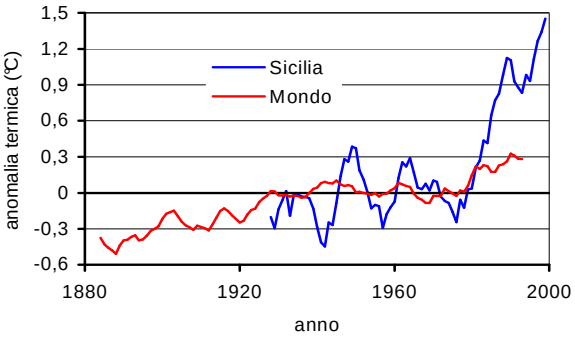
Stazione	**Var**	**Mese**											
		Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
Trapani	T_{max}	No	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{min}	C	C	No	No	C	No	C	C	No	No	No	C
	T_{med}	C	C	C	No	C	No	No	No	No	No	No	C
Palermo	T_{max}	No	No	No	D	No	D	D	No	No	No	No	C
	T_{min}	C	C	No	No	No	C	C	C	C	C	C	C
	T_{med}	C	No	No	No	No	No	No	No	No	C	No	C
Agrigento	T_{max}	C	C	C	No	C	No	No	No	No	C	C	C
	T_{min}	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{med}	C	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	C
Caltanissetta	T_{max}	C	C	C	No	C	C	No	C	C	C	C	C
	T_{min}	C	C	C	No	C	C	No	C	No	C	No	C
	T_{med}	C	C	C	No	C	C	No	C	C	C	C	C
Messina	T_{max}	C	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{min}	C	C	C	No	C	C	C	C	C	No	No	C
	T_{med}	C	C	No	No	C	No	No	C	No	No	No	C

No: non si è rilevato un trend; D: si è rilevato un trend decrescente; C: si è rilevato un trend crescente

La tendenza evolutiva delle temperature dell'aria non appare omogenea nelle cinque stazioni considerate. In particolare, a Trapani, Palermo e Messina, le temperature minime hanno mostrato una tendenza crescente per 6-9 mesi dell'anno mentre, per quelle massime, la suddetta tendenza si è rilevata per soli 1-2 mesi. Per queste stazioni, la temperatura media ha mostrato un trend crescente in 3-5 mesi. Anche per la stazione di Agrigento, il trend crescente della temperatura media si è riscontrato in tre mesi. In questo caso, però, è prevalso decisamente l'incremento delle temperature massime, che si è osservato in 7 mesi, rispetto a quello delle temperature minime, che non si è rilevato mai. A Caltanissetta, infine, la temperatura media è cresciuta per la massima parte dell'anno (10 mesi), crescendo con frequenza simile (10 mesi per la temperatura massima, 8 mesi per quella minima) le temperature estreme.

In definitiva, l'incremento della temperatura dell'aria appare accertato e, pur non potendo generalizzare l'informazione acquisita, risulta più evidente nei mesi freddi che in quelli caldi. Per le stazioni che ricadono lungo la costa settentrionale dell'isola, le modificazioni più accentuate sono prevalentemente a carico delle temperature minime mentre per le due stazioni della Sicilia centro-meridionale l'incremento della temperatura media dell'aria dipende o dal solo incremento delle temperature massime o dal contemporaneo incremento delle temperature minime e massime.
Pur se il numero di stazioni considerate nello studio non consente di ritenere le indicazioni finora emerse del tutto rappresentative a scala regionale, si è anche tentato un confronto tra l'andamento temporale medio delle cinque serie di temperature annue rilevate alle stazioni di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina e quello rilevato su scala mondiale, dall'analisi di più di un secolo di dati di temperatura globale (Rosso, 1994). Per le due serie considerate, la figura 4 mostra le medie mobili di ordine 5 anni delle cosiddette anomalie termiche, cioè delle differenze tra la temperatura annua e la corrispondente temperatura media annua relativa al periodo 1950-79, considerato come periodo di riferimento (Strahler e Strahler, 1996). L'esame della suddetta figura evidenzia chiare similarità per le due serie considerate ("Sicilia", "Mondo") e, particolarmente, una tendenza all'incremento termico a partire dal 1975. Il suddetto incremento, al 1993 (ultimo anno di osservazione della serie "Mondo"), è pari a circa 0.3 °C per quanto riguarda i dati mondiali mentre si attesta su un valore di circa 0.8 °C per la serie di dati siciliani. La discrepanza osservata dipende probabilmente dal fatto che le stazioni di misura siciliane considerate ricadono tutte in aree urbanizzate, trattandosi di capoluoghi di provincia.

Figura 4 - Medie mobili di ordine 5 anni delle differenze tra la temperatura media del generico anno e la temperatura media del periodo 1950-1979



Considerazioni conclusive

La diminuzione delle precipitazioni e l'incremento delle temperature, con il conseguente aumento dell'evapotraspirazione, hanno un notevole impatto sul contenuto idrico del suolo. Viene modificata, infatti, la risposta idrologica del terreno sia in superficie, dal momento che si altera il bilancio idrico del suolo, che in profondità, a causa dell'alterazione nel bilancio degli acquiferi. L'impatto è duplice: da un lato questo fenomeno condiziona l'uso agricolo dei terreni coltivati causando, tra l'altro, maggiori consumi irrigui per le colture; dall'altro viene alterato sensibilmente il regime dei deflussi fluviali, con effetti sulla regolazione delle portate.

I risultati ottenuti nell'indagine, pur segnalando con chiarezza una apprezzabile variazione nel regime pluvio-termometrico, non possono essere considerati ancora definitivi e rappresentativi a scala regionale. E' necessario infatti approfondire in primo luogo la relazione che sussiste tra le indicazioni ottenute localmente e la metodologia di analisi statistica delle serie temporali applicata nello studio. Bisogna, inoltre, estendere l'indagine ad un numero più elevato di stazioni di misura in quanto, notoriamente, il riconoscimento di eventuali trend climatici a scala regionale si basa sull'esame di serie storiche di dati raccolti in punti discreti del territorio e sul rilievo di trend significativi per un numero di stazioni maggiore di quello atteso per caso. Per una fissata area geografica, evidentemente, il rischio di pervenire a conclusioni erronee si riduce al crescere del numero di stazioni incluse nell'indagine. Tenuto conto, inoltre, del fatto che le stazioni considerate in questa indagine ricadono tutte in aree urbanizzate, è necessario includere stazioni di misura ubicate in aree rurali al fine di ridurre la distorsione dovuta alle isole urbane di calore che influenzano direttamente il clima, innalzando artificiosamente le temperature dell'aria.

Carmelo Agnese e Vincenzo Bagarello hanno organizzato e coordinato la ricerca. Giovanna Nicastro ha curato la raccolta e l'elaborazione dei dati. Tutti gli autori hanno contribuito ad analizzare i risultati e a scrivere il lavoro.

Bibliografia

Cohen S.J. (1991). Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River sub-basin, Canada. Climatic Change, 19:291-317

Crisci A., Gozzini B., Meneguzzo F., Pagliara S., Maracchi G. (2002). Extreme rainfall in a changing climate: regional analysis and hydrological implications in Tuscany. Hydrological Processes, 16:1261-1274

Douglas E.M., Vogel R.M., Kroll C.N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240:90-105

Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J. (1990). The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University, UK, 365 pp.

Kendall M., Stuart A., Ord J.K. (1983). The advanced theory of statistics. Volume 3, Charles Griffin & Company Limited, London & High Wycombe

Moonen A.C., Ercoli L., Mariotti M., Masoni A. (2002). Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. Agricultural and Forest Meteorology, 111:13-27

Nearing M.A. (2001). Potential changes in rainfall erosivity in the U.S. with climate change during the 21st century. Journal of Soil and Water Conservation, 56(3):229-232

Rosso R. (1994). Effetto serra: istruzioni per l'uso. Progetto Leonardo, Bologna

Schlesinger M.E., Mitchell J.F.B. (1985). Model projection of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. In Projecting the Climate Effects of Increasing Carbon Dioxide, Rep.DOE/ER-0237, edited by M.C.McCracken and F.M.Luther, U.S.Dep. of Energy, Washington D.C.

Smit B., Ludlow L., Brklacich M. (1988). Implications of a global climatic warming for agriculture: a review and appraisal. Journal of Environmental Quality, 17:519-527

Sneyers R. (1990). On the statistical analysis of series of observations. Technical note n. 143, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland

Strahler A., Strahler A. (1996). Physical geography. John Wiley & Sons, Inc., New York

von Storch H. (1995). Chapter 2: Misuses of statistical analysis in climate research. pp. 11-26 in von Storch H. & Navarra A. Eds., Analysis of Climate Variability – Application of Statistical Techniques, Springer, Berlin

Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. (2001). Trends in Canadian streamflow. Water Resources Research, 37(4):987-998

METODOLOGIA PER LA REDAZIONE DI UNA CARTA IN SCALA 1:250.000 SULLE AREE VULNERABILI AL RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE IN SICILIA

S. Carnemolla[1], A. Drago[2], M. Perciabosco[3], F. Spinnato[4]
(1) CTM - Centro di Telerilevamento Mediterraneo - Via G. Giusti, 2 - 90144 Palermo - ctmrac@tin.it
(2) Regione Siciliana - Assessorato Agricoltura e Foreste – Unità Operativa di Agrometeorologia - Viale Regione Siciliana, 2675 - 90145 Palermo - adrago@regione.sicilia.it
(3) Regione Siciliana - Assessorato Agricoltura e Foreste – Unità Operativa di Pedologia - Viale Regione Siciliana, 2675 - 90145 Palermo – agri1.pedologia@regione.sicilia.it
(4) Regione Siciliana - Assessorato Territorio ed Ambiente - Via U. La Malfa 169 - 90146 Palermo - fspinnato@artasicilia.net

Riassunto
La Sicilia, come altre aree mediterranee, risulta interessata da potenziali fenomeni di desertificazione, che conducono alla perdita di suolo fertile.
Nel presente lavoro è presentata una proposta di metodologia per la realizzazione di una carta alla scala 1:250000, sulle aree a rischio di desertificazione in Sicilia. L'indice finale di rischio deriva della combinazione di due indici climatici (aridità e siccità) e di un indice di perdita di suolo (legato ai fenomeni erosivi).
Tale metodologia costituisce un primo passo conoscitivo, cui dovrebbe seguire un'analisi più dettagliata che consideri ulteriori fenomeni, determinanti nei processi di desertificazione: salinizzazione, pressione di pascolamento, perdita di sostanza organica, ecc.

Abstract
Sicily, as other mediterranean areas, is interested in potential desertification phenomena, leading to fertile soil loss. In this work is presented a proposal of methodology for a 1:250000 scale map, on desertification prone areas in Sicily. The final index is obteined by combining two climatic indeces (aridity and drought) and a soil loss index (related to erosive phenomena). This methodology represents just the first step; it shoud be followed by a more detailed analysis, considering other important phenomena, determinant on desertification processes: e.g., salinization, grazing pressure, organic matter loss, etc.

Il fenomeno della desertificazione nel Mediterraneo

La desertificazione è una tra le più gravi priorità ambientali che interessano i territori aridi, semi-aridi e sub-umidi del Mediterraneo. Essa viene definita come il processo che porta ad una riduzione irreversibile della capacità del suolo di produrre risorse e servizi (FAO-UNEP-UNESCO, 1979), ovvero di supportare la produzione di biomassa, a causa di limitazioni climatiche e di attività antropiche. La degradazione ha inizio in aree limitate e procede a macchia e per fasi successive, subendo brusche accelerazioni durante i periodi particolarmente asciutti e regressioni durante quelli più umidi.

Tale fenomeno non dev'essere considerato soltanto nel suo stadio finale, bensì in quel complesso processo innescato ed alimentato dalla combinazione di un insieme di fenomeni a carico dei suoli, quali: la rimozione della coltre vegetale e del materiale rigenerativo, il sovrapascolamento, le tecniche di lavorazione improprie, la riduzione del contenuto di sostanza organica e la degradazione della struttura, le irregolarità del regime idrico, l'erosione, la salinizzazione, ecc.

L'urgenza di affrontare il problema della desertificazione è basata sul fatto che il processo di perdita globale delle risorse produttive del territorio ha molteplici conseguenze. Per quanto attiene alle conseguenze sull'ambiente, essa contribuisce in maniera determinante alla riduzione della biodiversità, oltre che della produttività globale. Da un punto di vista socio-economico, invece, la desertificazione può causare instabilità economica e politica, impedendo il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile nelle aree e nei paesi interessati e sottoponendo a forti pressioni l'economia e la stabilità delle società confinanti.

Le cause del fenomeno sono riconducibili a una combinazione dei seguenti elementi:

a) fragilità ecologica intrinseca del sistema territoriale;
b) sfruttamento delle risorse del territorio superiore alle sue capacità naturali;
c) condizioni climatiche estreme e sfavorevoli.

Il clima mediterraneo, ad esempio, tipicamente caratterizzato da un irregolare regime pluviometrico e da estati calde e asciutte, può costituire un ulteriore elemento di disequilibrio.

Il sovrasfruttamento delle aree montane e boschive per il pascolo e gli incendi sempre più ricorrenti sono due evidenti esempi di una gestione del territorio disattenta, irrazionale e priva di adeguata pianificazione.

La concentrazione urbana delle popolazione, sia residente che stagionale, sulle aree costiere della Sicilia, prevalentemente considerabili tra le zone più asciutte dell'Europa meridionale, e l'utilizzazione agricola intensiva degli stessi territori determinano fabbisogni idrici che, spesso per lunghi

periodi dell'anno, superano le effettive disponibilità. La conseguente eccessiva estrazione dagli acquiferi costieri determina spesso fenomeni d'intrusione di acqua marina negli stessi, che contribuiscono ad elevare ancora di più il rischio di desertificazione, legato, in tal caso, agli effetti della salinizzazione.
I cambiamenti climatici possono aggravare processi di desertificazione in atto, o determinarne le condizioni d'innesco. Si pensi, in tal senso, ad un inasprimento delle condizioni di aridità e/o ad una maggiore frequenza dei fenomeni siccitosi e/o, ancora, ad un aumento del numero di eventi piovosi intensi che, specie su suoli con scarsa copertura vegetale, possono determinare una elevata e rapida degradazione del terreno, per la rimozione meccanica della sua porzione più fertile.

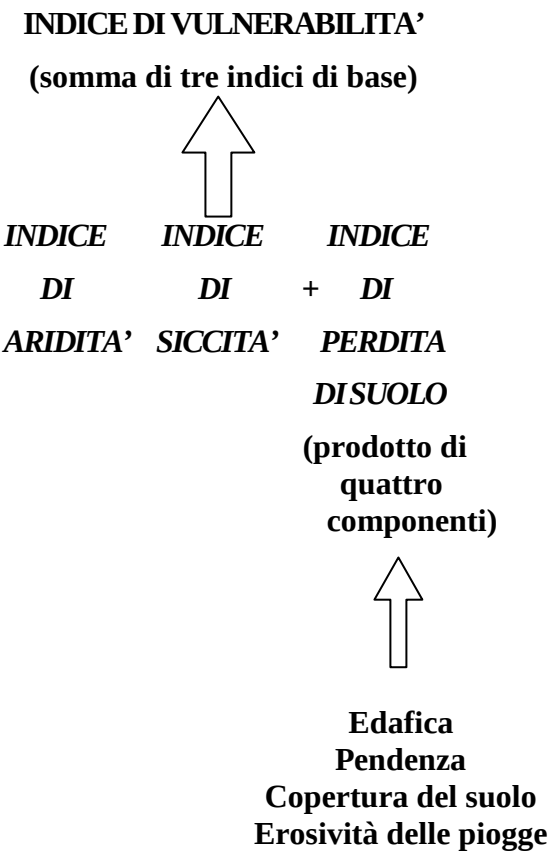
Metodologia

Per la redazione della carta si è preso spunto dalla metodologia redatta dal SAR - Servizio Agrometeorologico Regionale della Sardegna (Bandinelli G. et al., 2000) e da una proposta di indici per l'identificazione di aree vulnerabili alla desertificazione, elaborata da un gruppo di lavoro interdisciplinare portoghese (Pimenta M.T. et al., 1999) nell'ambito della Convenzione Internazionale per la lotta alla desertificazione (CCD - Convention to Combat Desertification).
La presente metodologia permette di giungere ad una rappresentazione in scala 1:250000 della vulnerabilità alla desertificazione del territorio regionale che, alla suddetta scala, restituisce una informazione attendibile, in quanto compatibile e coerente con i dati territoriali utilizzati.
La proposta metodologica è basata sulla combinazione di tre differenti indici in grado di riflettere specifici aspetti legati al fenomeno della desertificazione e cioè:

- le condizioni di aridità;
- le condizioni di siccità;
- la perdita di suolo, in relazione alle sue caratteristiche, al suo uso e all'erosività delle piogge.

Tale studio permette di effettuare una valutazione di massima della vulnerabilità alla desertificazione del territorio considerato, giungendo ad un primo livello conoscitivo da approfondire introducendo, in una seconda fase ed a scale di maggior dettaglio (ad esempio, 1:100000), altri indici rappresentativi del fenomeno quali, ad esempio, quelli riguardanti la qualità delle acque, il contenuto di sostanza organica dei suoli, le aree percorse da incendi e la pressione di pascolamento, gli aspetti socio-economici (es. abbandono delle terre), ecc.
La metodologia adottata permette di esprimere la vulnerabilità di un territorio al rischio di desertificazione, intesa in termini di potenziale

innesco del fenomeno, tenendo conto di fattori predisponenti di tipo climatico e pedologico, opportunamente elaborati e combinati tra loro attraverso l'uso di un software commerciale per la gestione di sistemi informativi geografici.
L'uso di tali indici consente di raggruppare e oggettivare, quanto più possibile, i processi fisici connessi con i fenomeni di desertificazione. Ciascun indice può tuttavia conservare un certo grado di soggettività, che, attraverso la conoscenza dei fenomeni che vi sono alla base e, soprattutto, della loro interazione con il territorio di applicazione, si è in ogni caso cercato di mantenere entro limiti accettabili e comunque tali da non alterare il risultato finale.
Lo schema sotto riportato indica in modo sintetico come si è operato nell'utilizzo dello strumento GIS.



Indici climatici
Tutte le elaborazioni climatiche sono state realizzate a partire da dati di base di temperatura e precipitazione relativi a stazioni del Servizio Idrografico Regionale, per il trentennio 1965-1994.

Indice di aridità
L'indice di aridità è dato dal rapporto fra le precipitazioni medie annue (P) e l'evapotraspirazione potenziale (ETP) media annua.

$$I_A = P * ETP^{-1}$$

Nel nostro caso esso è stato ottenuto dal rapporto fra la mediana dei totali annui delle precipitazioni e l'ETP stimata secondo il metodo di Penman-Monteith. Va però precisato che, per la nostra regione, non sono disponibili serie storiche sufficientemente lunghe su una estesa rete di stazioni e per tutte le grandezze meteorologiche che tale algoritmo di calcolo richiede (radiazione solare, intensità del vento, temperatura e umidità relativa dell'aria), ad eccezione della temperatura. Si è così ricorso ad una doppia stima su tre stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale (RAN) dell'UCEA (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali) utilizzando contemporaneamente i metodi di Penman-Monteith e di Thornthwaite. A partire dai parametri della retta di regressione lineare fra i due metodi si è quindi proceduto alla stima su tutto il territorio regionale dell'ETP secondo il metodo di Penman-Monteith, utilizzando come carta di base quella ottenuta con il metodo di Thornthwaite, peraltro già pubblicata nell'"Atlante climatologico della Sicilia" (Drago A. et al.- 2000).
La carta dell'Indice di aridità è stata quindi ottenuta dal rapporto tra la carta delle precipitazioni mediane annue e la carta dell'ETP appena detta, e presenta tre classi, indicanti livelli crescenti dell'indice di aridità, in funzione del valore del suddetto rapporto.

Tabella 1 – classi dell'indice di aridità

Classi di $P * ETP^{-1}$	**CLIMA**	**INDICE DI ARIDITA' (CLASSI)**
> 0,65	Umido	1
0,65 - 0,5	Asciutto - Subumido	2
< 0,5	Semiarido - Arido	3

Indice di siccità

A differenza del precedente, questo indice si potrebbe definire come un indice "dinamico", essendo basato sulla variabilità temporale degli scostamenti che si determinano fra le precipitazioni medie del trentennio e quelle di ciascun singolo anno, o mese, considerati. La siccità infatti, a differenza dell'aridità che è legata ad un concetto di deficit "permanente" di acqua, è un fenomeno relativo ad un temporaneo deficit idrico, che può variare nel tempo e interessare in diversa misura anche aree non aride.

Nel nostro caso, l'indice finale è la risultante di diverse componenti che tendono a schematizzare e sintetizzare il fenomeno considerato. Tali componenti sono: frequenza, durata e ampiezza degli eventi.

Nel dettaglio, fissata una soglia al di sotto della quale si può dire che si è in presenza di un evento siccitoso, si tratta di stabilire: in quanti anni e in quanti mesi si è scesi al di sotto di essa, per quanti mesi si è protratto l'evento, di quanto ci si è scostati rispetto ad essa. La difficoltà iniziale sta ovviamente nel fissare il valore soglia. Dopo aver ipotizzato ed analizzato diversi "valori soglia", si è scelta quella del 70% dei valori normali. In tal modo, pertanto, nei casi in cui si scende al di sotto del 70%, rispetto ai valori mediani trentennali, annui o mensili, di precipitazioni, si evidenzia appunto un evento di siccità. Questi sono quindi i primi due indici di base, rappresentati proprio dalla presenza o dall'assenza dell'evento, in termini percentuali, a livello annuale e mensile.

La durata del fenomeno è stata invece parametrizzata attraverso la somma di tutti i casi in cui si riscontrano due o più eventi siccitosi mensili consecutivi.

Infine, si è anche cercato di tenere conto dell'ampiezza del fenomeno, attraverso la quantificazione del deficit pluviometrico medio annuo. Questo è dato dal rapporto fra la sommatoria complessiva trentennale del deficit pluviometrico (differenza fra i singoli valori annui di precipitazione e il valore mediano trentennale) e il numero di anni di osservazione; rapportando poi, percentualmente, il valore così ottenuto al valore delle precipitazioni mediane annue, si è ottenuto un indice, il deficit pluviometrico medio annuo standardizzato, che fornisce un'idea dell'entità, per ciascuna località, dei fenomeni di carenza idrica.

Come detto, l'indice di siccità è la risultante delle suddette quattro componenti, attraverso una articolata classificazione, riportata di seguito. La carta dell'Indice di siccità, come già visto per la carta dell'Indice di aridità, presenta pertanto, in sintesi, tre classi, indicanti gradi crescenti di gravità del fenomeno.

Tabella 2 – classi dell'indice di aridità

Numero di anni siccitosi (%)	Numero di mesi siccitosi (%)	Eventi siccitosi mensili consecutivi ≥ 2 (n.)	Deficit pluviometrico medio annuo standardizzato (%)	Classi	Indice di Siccità (somma dei quattro indici di base)	**INDICE DI SICCITA' (classi)**
0 - 9	24 - 31	14 - 30	15 - 18	1	4 - 5	**1**
10 - 19	32 - 36	31 - 47	19 - 20	2	6 - 8	**2**
20 - 28	37 - 40	48 - 57	21 - 26	3	9 - 12	**3**

Indice di perdita di suolo

Tale indice tiene conto della perdita di suolo, in relazione alle seguenti quattro componenti:

- Edafica, in accordo con il tipo di suolo;
- Pendenza;
- Copertura del suolo, in funzione del tipo di vegetazione presente;
- Erosività delle piogge.

La carta dell'indice di perdita del suolo è stata ottenuta attraverso il prodotto delle suddette componenti (prodotto dei valori dei quattro grid-layer).

Componente edafica

Nel caso del territorio della regione Sicilia, i fattori fondamentali di degrado dei suoli sono l'erosione e la salinizzazione; questi sono stati quindi i criteri presi in considerazione per l'attribuzione delle classi di rischio alle diverse tipologie pedologiche individuate nella cartografia tematica utilizzata. La cartografia utilizzata è stata la Carta dei suoli della Sicilia in scala 1:250000 (Fierotti G. et al.-1988) che adotta come sistemi di classificazione dei suoli la Soil Taxonomy del Dipartimento Agricoltura degli USA (USDA), la Legenda FAO aggiornata al 1974 e la CPCS francese. La carta in argomento annovera 33 unità cartografiche, ciascuna costituita da associazioni generalmente di tre suoli. Tali associazioni sono presenti in ambiti geomorfologici e di substrato prevalentemente omogenei. Nell'attribuzione della classe di rischio all'unità cartografica sono stati principalmente presi in considerazione i seguenti fattori: substrato pedogenetico, tessitura del suolo, profondità del suolo e pendenza. Le classi hanno valori che oscillano da 1 a 3 e indicano, in ordine crescente, la suscettività di un determinato tipo di suolo al rischio di degrado.

Di seguito si riporta la tabella stilata secondo i criteri suesposti ed utilizzata nelle elaborazioni GIS per la definizione del layer relativo alla componente

edafica.

Tabella 3 –Vulnerabilità in funzione della componente edafica.

N° *Associaz.*	**Suoli presenti (%)**	**Classe di rischio**
1	Roccia affiorante (75), litosuoli (20)	3
2	Roccia affiorante (60), litosuoli (20), luvisuoli cromici (20)	3
3	Roccia affiorante (40), luvisuoli cromici (25), cambisuoli eutrici e/o calcici (20)	3
4	Litosuoli (45), roccia affiorante (25), regosuoli eutrici (20 *haploxerolls*)	3
5	Litosuoli (55), roccia affiorante (25), cambisuoli eutrici (15 *andic xerochrepts*)	3
6	Litosuoli (45), roccia affiorante (25), cambisuoli eutrici (20)	2
7	Litosuoli (50), roccia affiorante (20), luvisuoli cromici (20)	3
8	Litosuoli (50), cambisuoli districi (25), roccia affiorante (15)	3
9	Litosuoli (45), luvisuoli ortici (20 *typic e/o mollic haploxeralfs*), cambisuoli eutrici (20)	2
10	Regosuoli eutrici (40), litosuoli (35), cambisuoli eutrici (15 *andic xerochrepts*)	3
11	Regosuoli calcarei (50), litosuoli (20), cambisuoli eutrici e/o vertici (20)	3
12	Regosuoli eutrici (40), cambisuoli eutrici e/o vertici (30), fluvisuoli eutrici e/o vertisuoli cromici e/o pellici (20)	2
13	Regosuoli eutrici (55), cambisuoli eutrici e/o vertici (35)	2
14	Regosuoli eutrici (50), fluvisuoli eutrici e/o vertisuoli cromici e/o pellici (40)	1
15	Regosuoli eutrici (50), cambisuoli eutrici (25 *andic xerochrepts*), luvisuoli ortici (15)	3
16	Regosuoli eutrici (40), cambisuoli eutrici (30), luvisuoli ortici (20)	2
17	Fluvisuoli eutrici e cambisuoli eutrici e/o vertici (90)	1
18	Fluvisuoli eutrici (65), vertisuoli cromici e/o	1

	pellici (20)	
19	Vertisuoli cromici e/o pellici (95)	1
20	Cambisuoli eutrici (50), cambisuoli calcici (20), litosuoli (20)	1
21	Cambisuoli calcici (40), litosuoli (25), regosuoli eutrici (20)	2
22	Cambisuoli eutrici (50), cambisuoli vertici (20), vertisuoli cromici e/o pellici (20)	1
23	Cambisuoli eutrici (50), cambisuoli calcici (20), rendzine (15)	2
24	Cambisuoli eutrici (50), fluvisuoli eutrici (35)	1
25	Cambisuoli eutrici (55), luvisuoli ortici (20), regosuoli eutrici e litosuoli (15)	2
26	Cambisuoli districi (50), litosuoli (20), roccia affiorante (15)	3
27	Cambisuoli eutrici (75), luvisuoli ortici (15)	2
28	Cambisuoli eutrici (50 *andic xerochrepts*), litosuoli (35)	3
29	Luvisuoli ortici (60), luvisuoli cromici (30)	1
30	Luvisuoli cromici (70), litosuoli (15)	2
31	Luvisuoli cromici (50), cambisuoli calcici (20), litosuoli (20)	1
32	Arenosuoli gleici (100)	1
33	Dune e regosuoli (100 *xeropsamments*)	3

Pendenza

La pendenza è un'importante fattore di suscettibilità dei suoli ai fenomeni erosivi. In questo studio, utilizzando come tema cartografico di base il DEM con passo di 20 m, prodotto dall'Assessorato Regionale Beni Culturali e Ambientali, si è indicizzato tale fattore distinguendo le tre classi riportate in tabella 3.

Tabella 4 – Vulnerabilità in funzione della pendenza.

Classe di pendenza (%)	**Indice di pendenza (classi)**
< 5	1
5 – 15	2
> 15	3

Copertura del suolo

Per ciò che concerne invece il tema "copertura del suolo" la cartografia utilizzata, analogamente a quanto fatto dalla regione Sardegna, è stata la carta del CORINE land cover, anch'essa in scala 1:250000. Ai fini della semplificazione del lavoro, è stato ritenuto opportuno raggruppare le numerose classi di legenda del CORINE in un numero ridotto di classi che indicassero le diverse tipologie di vegetazione e/o di uso presenti, mantenendo comunque un buon contenuto informativo. In questo lavoro di raggruppamento si è tenuto conto, data la scala di restituzione e sempre per semplicità di metodo, soltanto delle classi di terzo livello; inoltre, analogamente a quanto fatto per il tema suolo, i valori attribuiti alle classi di rischio oscillano da 1 a 3 a secondo della maggiore o minore efficacia protettiva della copertura vegetale considerata.

Di seguito si riporta la tabella stilata secondo i criteri suesposti ed utilizzata nelle elaborazioni GIS per la definizione del layer relativo al rischio di vulnerabilità per il tema "copertura del suolo".

Tabella 5 – Vulnerabilità in funzione della copertura.

Tipo di raggruppamento	Codici delle classi che rientrano nel tipo di raggruppamento	Classe di rischio
Aree a vegetazione rada e degradata	333	3
Tessuto urbano	111, 112, 121, 122, 123, 124, 141, 142, 143	3
Aree nude, sabbiose e degradate	131, 132, 133, 331, 332, 334	3
Gariga	323	3
Aree lacustri	411	3
Pascolo con elementi arborei e/o macchia	244, 321	2
Are agricole	211, 212, 221, 222, 223, 241, 242, 243	2
Macchia	322	2
Macchia con elementi arborei	324	2
Latifoglie varie	311	1
Conifere varie	312	1
Boschi compositi misti	224, 313	1

Erosività delle piogge

La costruzione di tale indice, che fa parte del gruppo di variabili che schematizzano il grave fenomeno dell'erosione idrica dei suoli, non risulta agevole per diversi motivi. Intanto, i dati di base che occorrerebbero (precipitazioni di massima intensità a 30 minuti) non sono disponibili, in quanto non pubblicati dal Servizio Idrografico Regionale. Volendo ricorrere ai dati relativi all'intervallo di un'ora, si può in parte tentare di superare tale ostacolo, ma rimangono altri inconvenienti non sempre di lieve entità. Infatti, le serie di dati disponibili spesso non sono sufficientemente lunghe o lo sono solo per poche stazioni. In tali circostanze risulta quindi difficoltoso spazializzare il dato puntuale, considerando peraltro che tale processo sarebbe già caratterizzato da una limitata attendibilità anche in situazioni ottimali (lunghe serie storiche su estese reti di osservazioni), a causa di una accentuata localizzazione del fenomeno in questione.

Malgrado queste premesse, al fine di trovare un parametro quanto più possibile oggettivo che mira a stimare solamente una potenziale distribuzione territoriale dell'aggressività delle precipitazioni intense nei confronti del suolo, si sono utilizzati i dati delle precipitazioni di massima intensità ad un'ora, per tutte le stazioni disponibili, che in ogni caso risultano inevitabilmente un sottoinsieme (circa 100 stazioni) del totale delle stazioni pluviometriche su cui sono stati condotti gli studi climatici.

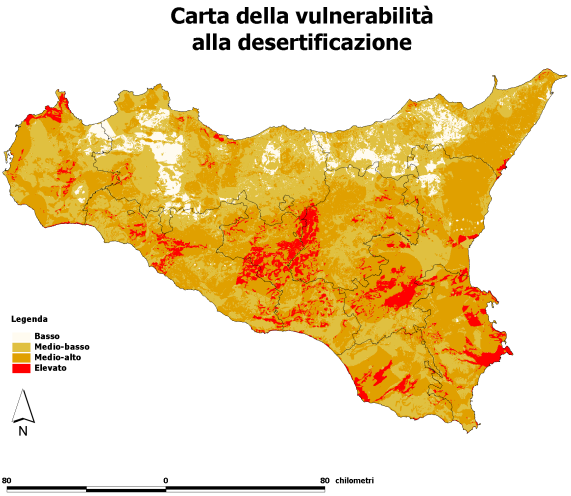
Per discriminare le diverse aree, si è utilizzato il criterio della frequenza di tutti gli eventi di massima intensità del trentennio considerato, registrati nelle stazioni prese in esame. Nel dettaglio, si è cercato di indicizzare opportunamente la frequenza delle precipitazioni di elevata intensità oraria (valori che superano i 40 mm), assegnando di conseguenza i più alti valori dell'indice a quelle stazioni in cui la frequenza di tali eventi è stata maggiore. Il valore dell'indice è dato dal rapporto percentuale fra il numero di anni con eventi di precipitazioni superiori a 40 mm/h e il numero di anni disponibili (con effettiva disponibilità dei dati). Nella tabella seguente è riportata la modalità di classificazione.

Tabella 6 – Vulnerabilità in funzione delle piogge estreme.

N. di anni con eventi di precipitazione > 40 mm/h (%)	**Indice di erosività delle piogge (classi)**
0-10	1
11-20	2
21-30	3
31-50	4

La carta delle aree vulnerabili

La carta finale di rischio di desertificazione è stata ottenuta attraverso la somma dei valori dei grid-layer di base (indice di aridità, indice di siccità, indice di perdita di suolo).



Dalla classificazione adottata (quattro classi), scelta dal gruppo di lavoro come la più idonea in relazione all'interpretazione delle tre carte da cui essa deriva, si è ottenuto il seguente quadro di sintesi.

Tabella 7 - Quadro di sintesi sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia.

CLASSE DI RISCHIO	SUPERFICIE (HA)	SUPERFICIE (%)
Basso	152.653	6,0
Medio – Basso	969.600	38,1
Medio – Alto	1.230.115	48,4
Elevato	191.655	7,5
Totale	2.544.023	100

Considerazioni conclusive

Come necessaria considerazione finale va senz'altro evidenziato quanto sia delicata la scelta delle classi di rischio, da cui dipende il risultato dell'intero lavoro, in termini di oscillazioni del grado di vulnerabilità del territorio studiato. In assenza di apposite risultanze sperimentali, la soggettività delle scelte potrebbe condizionare il risultato finale anche se, per le caratteristiche della metodologia adottata, che permette di smorzare tali effetti, per il livello di competenza degli specialisti coinvolti e per l'approfondita conoscenza di base del territorio di studio, tali eventuali variazioni possono essere considerate largamente accettabili.

Risulta importante evidenziare ancora il contesto nel quale è stata realizzata l'applicazione di questa metodologia.

Questo lavoro è un esempio concreto dello spirito del Progetto INTERREG II C "Rete sovranazionale di laboratori multifunzionali" del quale fa parte: infatti da questo progetto esso ha trovato lo spunto per la sua realizzazione.

I Gruppi di Lavoro che si sono occupati delle diverse tematiche riguardanti l'ambiente in molteplici suoi aspetti hanno permesso, con gli incontri e l'utilizzo della intranet fra le regioni partecipanti (nazionali ed estere), di confrontare persone, conoscenze e strumenti da questi utilizzati nella gestione dell'ambiente stesso. INTERREG II C si è rivelato in tal senso una vera risorsa con un grande valore aggiunto: quello dello scambio e del confronto di esperienze e di metodologie.

INTERREG III B, ormai alle porte, apporterà senza dubbio ulteriori opportunità, soprattutto per i progetti che in esso troveranno una continuità, e precisamente la possibilità di affrontare e gestire i temi dell'ambiente nell'ambito del Mediterraneo con una metodologia comune.

Bibliografia

AA.VV. - Climatologia della Sicilia – Regione Siciliana – Assessorato Agricoltura e Foreste – Servizi allo Sviluppo – Unità Operativa di Agrometeorologia – Palermo, 1998.

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) – Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo Europeo – Roma , 2000.

Bandinelli G. et al. – Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sardegna, sulla base di parametri meteorologici, fisiografici e pedologici – Sassari, 2000.

Basso F. et al. – Degradation processes in the Agri Basin: evaluating environmental sensitivity to desertification at basin scale – Atti del Seminario internazionale "Indicators for assessing desertification in

Mediterranean areas". Porto Torres (SS), 1998.
Bianco G., Loj G. – Il Programma per la lotta alla siccità e alla desertificazione della Regione Sardegna nel contesto nazionale: il contributo dell'ERSAT e del SAR – Atti del Convegno "Siccità: monitoraggio, mitigazione, effetti". Villasimius (CA), 2000.
Comitato Regionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione in Sicilia - "Indicazioni delle aree vulnerabili". Palermo, 2000.
CTM - Centro di Telerilevamento Mediterraneo - "Desertification Monitoring and Control: Analysis of Remote Sensing-based Projects in the Mediterranean". Palermo, 1999.
Drago A. et al. - "Atlante climatologico della Sicilia" – Regione Siciliana – Assessorato Agricoltura e Foreste – Servizi allo Sviluppo – Unità Operativa di Agrometeorologia – Palermo, 2000.
Fierotti G. et al. – Carta dei Suoli della Sicilia. Scala 1:250000 – Regione Siciliana, Assessorato territorio e ambiente. Palermo, 1988.
Pimenta M.T., Santos M.J., Rodrigues R., 1997: "A proposal of indices to identify desertification prone areas." CCD Portugal - Instituto da Agua, Murcia, 22-23 May 1999.

L'EPOCA DI FIORITURA IN SPECIE ARBOREE IN UN CONTESTO DI VARIABILITÀ CLIMATICA: IL CASO DEL MELO

E.Eccel, G.Toller, C. Dalsant
Istituto Agrario di S. Michele all'Adige (Trento)
emanuele.eccel@mail.ismaa.it

Riassunto
15 anni di rilievi fenologici sulla fioritura del melo (1986 – 2000) sono stati esaminati e confrontati con le relative serie di temperatura per due aree frutticole trentine, poste a 210 m e a 650 m. Nel periodo esaminato risulta particolarmente accentuato sia l'anticipo della fioritura, sia l'incremento di temperatura media nel trimestre precedente l'antesi. La durata della fioritura, al contrario, non pare ugualmente influenzata dall'andamento termico. Le temperature minime assolute raggiunte nel periodo di fioritura non hanno mostrato tendenze all'aumento o alla diminuzione, non consentendo di evidenziare variazioni nell'esposizione al gelo. Migliori correlazioni tra temperatura e fenologia si trovano in generale per l'area di collina, piuttosto che per quella di fondovalle.

Abstract
15 years of apple bloom phenology recordings (1986 – 2000) have been investigated and compared to the relevant temperature series in two fruit growing areas in Trentino (Italy), located at 210 and 650 m. In the period considered, both the bloom anticipation and the average temperature rise before anthesis are remarkable. On the contrary, the bloom duration does not appear to be affected in the same way by the temperature trend. Neither rising nor decreasing trend was observed in the absolute minimum temperature series during the bloom period; that prevented the inference of any trend in frost exposure. A better correlation between temperature and phenology is always detectable for the hill site, rather than for the valley bottom.

Dati e metodologia

L'elaborazione riguarda i rilievi fenologici condotti sul melo (var. *Golden Delicious*) in due aziende di proprietà dell'Istituto Agrario di S. Michele (IASMA) in provincia di Trento: Maso Parti (210 m, fondovalle atesino) e Maso Maiano (650 m, Val di Non). I rilievi coprono un periodo di 15 anni, dal 1986 al 2000. Sono state scelte per le elaborazioni le due fasi di fioritura E2 e G (secondo la chiave fenologica di Fleckinger, 1955), corrispondenti a "bottoni rosa" (E2) e a "caduta petali" (G). Sono state quindi ricavate, anno

per anno, le date corrispondenti al 50% del raggiungimento delle due fasi da parte delle gemme (conforme a WMO, 1996), eventualmente interpolando la data quando tra un ramo e l'altro si fossero determinate date non univoche.
Il confronto con le serie meteorologiche è stato eseguito con i dati raccolti presso le stazioni di S. Michele (prossima a Maso Parti, circa 2 km a est) e Cles (sita all'interno dell'azienda di Maso Maiano stessa). I dati sono stati utilizzati su base oraria, apportando anche integrazioni ai dati di S. Michele mediante la stazione di Trento Sud (circa 18 km più a sud), laddove il dato fosse risultato mancante per intervalli significativi. Un intervento di questo tipo non si è reso necessario per la stazione di Cles. I dati orari sono stati utilizzati per il calcolo delle somme termiche con soglia che è stata fatta variare da 0 a 10 °C.
Dai dati delle stesse stazioni sono stati ricavate le serie delle temperature mediate nel trimestre precedente la fioritura e nell'intero anno. Sono state utilizzate le medie del periodo febbraio – aprile. Osservando, però, che la fioritura a M. Parti è mediamente più precoce di circa 12 giorni rispetto a M. Maiano, i dati della stazione di S. Michele, riferiti all'azienda di M. Parti, sono stati mediati nel trimestre 18 gennaio – 18 aprile, ottenendo migliori correlazioni. Data la sostituzione delle due stazioni meteo nel secondo semestre del 2000, la serie delle temperature medie annue è stata arrestata al 1999.
Al fine della ricerca di un semplice modello lineare che determinasse il cumulo di gradi ora necessari al raggiungimento dell'antesi, possibilmente svincolandosi dall'area di raccolta dei dati, è stato eseguito il calcolo delle sommatorie termiche e ricavato il valore corrispondente al minimo errore quadratico medio. Questa procedura è stata utilizzata secondo due modalità: a) con una soglia posta a 0 °C; b) con una soglia variabile, da –1 °C a +8 °C, come indicato nelle esperienze di Winter (1986).

Risultati

I risultati dell'indagine fenologica sono rappresentati nella tabella 1 e nelle figure 1 e 2. In particolare si rileva che:

- il ritardo nella fioritura a M. Maiano (650 m), rispetto a M. Parti (210 m) è mediamente pari a 11 – 12 giorni;
- la durata della fioritura è di 14 – 15 giorni;
- non esistono differenze sostanziali nella deviazione standard delle date di fioritura tra M. Parti e M. Maiano (1 giorno di differenza);
- esiste una significativa differenza tra il cumulo di gradi ora richiesti per la fioritura nelle due aziende; tale differenza si accentua per il completamento della fioritura;

- il coefficiente di variazione del cumulo di gradi ora è sempre minore per M. Maiano rispetto a M. Parti; ciò indica maggiore stabilità nel modello lineare applicato a quest'ultima area;
- per una stessa area, il coefficiente di variazione differisce di poco per le due fasi E2 e G;
- il coefficiente di variazione sul cumulo di gradi ora decresce progressivamente andando da soglie termiche alte (10 °C) a soglie basse (0 °C); i valori per il modello con soglia 0 °C indicano c.v. del cumulo di gradi ora variabili dal 5 – 6 % (M. Maiano, bottoni rosa e caduta petali) al 7 – 9 % (M. Parti, idem).

I risultati delle elaborazioni sulle serie temporali di fenologia e temperatura sono rappresentati nella tab. 2 e nelle figure 3 e 4. Essi forniscono le seguenti indicazioni:

- esiste un anticipo significativo della fioritura, pur diversificato: l'anticipo appare lievemente maggiore a M. Maiano, dove la significatività è anche migliore; il tasso di anticipo risulta variabile, a seconda dell'area e della fase, all'incirca da 0,6 a 1,0 giorni anno^{-1};
- nel quindicennio esaminato il tasso di incremento di temperatura media nel trimestre precedente la fioritura, nel periodo 1986 – 1999, è risultato, per entrambe le stazioni di riferimento, pari a 0,16°C anno^{-1}; tale incremento è significativo ad un livello del 5 % per entrambe le stazioni;
- non altrettanto univoco è il segnale di incremento di temperatura media annua per le due stazioni, che risulta variabile tra 0,05 e 0,12 °C anno^{-1}, rispettivamente per S. Michele e Cles con significatività rispettivamente dell'1 % e del 5 %;
- la relazione tra le date di fioritura e la temperatura media nel trimestre precedente risulta altamente significativa, per entrambe le aree ed entrambe le fenofasi;
- le temperature minime misurate nei 15 giorni centrati nel giorno di raggiungimento delle due fasi (figura 3 e 4) appaiono casualmente disposte negli anni; un'eventuale tendenza non risulta statisticamente significativa.

Discussione

La modellistica della fioritura delle specie arboree da frutto è stata affrontata da diversi autori, con diversi gradi di complessità e risultati non sempre coerenti tra loro (Bidabe, 1967; Kronenberg, 1983; Winter, 1986; Snyder et al., 1999; Valentini et al., 2001). Non è negli scopi di questa breve ricerca la determinazione di un modello ottimale per descrivere la fioritura del melo. Si intende piuttosto porre l'accento sul significato climatico del rilevamento fenologico; la risposta biologica può infatti

risentire in modo difforme dell'andamento climatico, con significative variazioni tra una specie e l'altra (Kramer et al., 2000). I risultati preminenti dell'indagine possono essere così riassunti.

L'anticipo della fioritura, per quanto irregolare se sono confrontate le due aree e le due fasi (E2 e G), è notevole. Il comportamento nella stazione di M. Maiano (Cles) appare sempre più regolare che nella stazione di M. Parti. Nonostante la maggior dispersione dei dati relativi alla coppia "azienda M. Parti – stazione di S. Michele", risulta evidente (figura 5) che in Val di Non sono apparentemente richieste somme termiche inferiori per raggiungere un'uguale fase, per lo meno se le somme termiche sono calcolate secondo un semplice modello lineare. Tuttavia, anche adottando un sistema a soglia variabile (risultati non riportati), il risultato qualitativamente non cambia.

La tendenza all'anticipo della fioritura trova conforto nel segnale climatico di riscaldamento accertato, che si manifesta anche per le due stazioni considerate con particolare chiarezza nel trimestre precedente la fioritura, ancora meglio che a livello annuale. Inoltre, il fenomeno fisico e quello biologico appaiono chiaramente (e statisticamente) legati tra loro. Bisogna peraltro rilevare che 15 anni di dati non costituiscono un campione sufficientemente grande per poter estendere i valori di trend trovati all'andamento climatico generale.

Per quanto riguarda gli scenari di una possibile maggiore o minore esposizione al gelo, nell'ambito del progressivo riscaldamento globale, si deve rilevare come questa indagine non abbia permesso di rilevare effetti di aumento o diminuzione delle temperature minime raggiungibili in concomitanza della fioritura (figure 3 e 4).

Per quanto riguarda il ruolo differenziato della temperatura in aree diverse, altre esperienze (Kronenberg, 1983) concordano nella difficoltà di raggiungere un uguale valore di somma termica per portare a compimento una fenofase. Nonostante, nell'area di produzione frutticola trentina, il fabbisogno di freddo sia regolarmente soddisfatto nel corso dell'inverno e alcuni autori abbiano ritenuto ininfluente il ruolo della temperatura invernale per la regolazione della fioritura del melo (Gerola, 1951), successivi studi hanno tentato di istituire relazioni tra fioritura e somme termiche calcolate a partire dal soddisfacimento del fabbisogno di freddo (Bidabé, 1967; Valentini et al., 2001; Birch et al., 2001). Rimanendo comunque i risultati inferiori alle aspettative, questo approccio non è stato preso in considerazione. Esso potrebbe però almeno in parte spiegare la minor richiesta di somma termica apparente riferita alla stazione di collina, rispetto a quella di fondovalle; per quest'ultima, infatti, il momento di inizio biologico dell'accumulo termico si troverebbe posticipato rispetto all'area di collina, più fredda e quindi più precoce per quanto riguarda il raggiungimento della quiescienza. L'apparente assenza (confortata dai dati

in nostro possesso) di una soglia di temperatura per il calcolo delle somme termiche (per lo meno nell'intervallo 0 – 10 °C), conforterebbe ulteriormente questa ipotesi, consentendo un accumulo di energia termica anche con temperature relativamente basse.
Per quanto riguarda il raggiungimento della fase di caduta petali, ossia il termine della fioritura, va osservato che la distanza dalla fase di inizio fioritura, ossia la durata dell'antesi in sé, appare indipendente dall'area e quindi maggiormente svincolata dalla temperatura, che dovrebbe altrimenti favorire un processo più rapido in fondovalle. E' probabile che altri fenomeni, quali per esempio l'entità dell'impollinazione, prendano parte attiva all'evoluzione della fioritura dopo che essa è iniziata. Ciò sarebbe concorde all'osservazione (tab. 2) che l'anticipo della fase di bottoni rosa è più fortemente governato dalla temperatura del trimestre precedente, rispetto all'anticipo della fase di caduta petali, per quanto entrambe le relazioni risultino altamente significative.

Bibliografia

Bidabe, B., 1967: Action de la température sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparaison de méthodes de contrôle de l'époque de floraison. Ann. Physiol. Vég., 9 (I).
Birch, C.J., Mienke, H., Wang, E., 2001: Temperature rise, chilling, flowering and fruit set of apples in Queensland and New South Wales. In "The times they are a-changin' ". 5-7- dic., 2001, Wageningen (NL). Book of abstract.
Fleckinger, J., 1955: Phenologie et arboriculture fruitière. Bon Jardinier, 1.
Gerola, F.M., 1951: Ricerche sulla fenologia delle gemme a fiore durante i mesi invernali. Nuovo Giornale Botanico Italiano, vol. LVIII.
Kramer, K., Leinonen, I., Loustau, D., 2000: The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forest ecosystems: an overview. Int. J. Biometeorol., 44.
Kronenberg, H.G., 1983: Relationships between temperatures and blooming dates of apple trees. Neth. J. Agric. Sci., 31.
Snyder, R.L., Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., 1999: Determining degree-day thresholds from field observations. Int. J. Biometeorol., 42.
Valentini, N., Me, G., Ferrero, R., Spanna, F., 2001: Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple variety in Northern Italy. Int. J. Biometeorology, 45.
Winter, F., 1986: A simulation model of phenology and corresponding frost resistance of "Golden Delicious" apple. Acta Horticulturae, 184.
WMO, 1996: Agrometeorological data management – Agricultural Meteorology CagM report n. 65. Ginevra.

Tabella 1 – Sintesi delle elaborazioni fenologiche per la fioritura di cv. Golden Delicious

	Maso Parti (210 m)	**Maso Maiano (650 m)**
STAZIONE METEOROLOGICA	S. Michele	Cles
BOTTONI ROSA		
DATA MEDIA (50 % GEMME)	10 aprile	22 aprile
DEVIAZIONE STANDARD (gg)	7	8
MEDIA GRADI ORA CUMULATI (SOGLIA 0 ℃)	13899	12023
COEFFICIENT E DI VARIAZIONE	0.09	0.06
MEDIA GRADI ORA CUMULATI (SOGLIA 10 ℃)	2176	1515
COEFFICIENT E DI VARIAZIONE	0.20	0.11
CADUTA PETALI		
DATA MEDIA (50 % GEMME)	25 aprile	6 maggio
DEVIAZIONE STANDARD (gg)	5	6
MEDIA GRADI ORA CUMULATI (SOGLIA 0 ℃)	17990	15951
COEFFICIENT E DI VARIAZIONE	0.07	0.05
MEDIA GRADI ORA CUMULATI (SOGLIA 10 ℃)	3303	2463
COEFFICIENT E DI VARIAZIONE	0.12	0.09
DURATA MEDIA FIORITURA (gg)	15	14

Tab. 2 – Sintesi elaborazioni climatiche per la fioritura di cv. *Golden Delicious*

	Maso Parti (210 m)	**Maso Maiano (650 m)**
STAZIONE METEOROLOGICA	S. Michele	Cles
INCREMENTO T MEDIA ANNUA		
INCREMENTO [°C anno $^{-1}$]	0.12	0.05
SIGNIFICATIVITA' [%]	1	5
INCREMENTO T PRE-FIORITURA (3 MESI)		
INCREMENTO [°C anno $^{-1}$]	0.16	0.16
SIGNIFICATIVITA' [%]	5	5
ANTICIPO BOTTONI ROSA		
ANTICIPO [giorni anno^{-1}]	0.56	0.91
SIGNIFICATIVITA' [%]	> 5	1
ANTICIPO CADUTA PETALI		
ANTICIPO [giorni anno^{-1}]	0.80	1.02
SIGNIFICATIVITA' [%]	5	5
RELAZIONE T PRE-FIORITURA E DATE BOTTONI ROSA		
ANTICIPO [giorni anno^{-1}]	4.7	6.5
SIGNIFICATIVITA' [%]	1	1
RELAZIONE T PRE-FIORITURA E DATE CADUTA PETALI		
ANTICIPO [giorni anno^{-1}]	4.1	4.9
SIGNIFICATIVITA' [%]	1	1

Figura 1 – Date di fioritura e T medie nel trimestre pre-fioritura – Az. Maso Parti – Stazione di S. Michele (210 m)

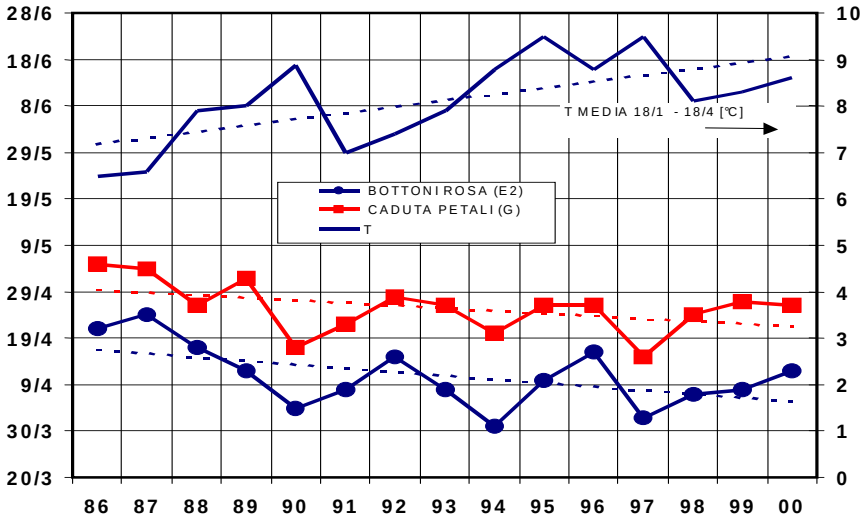


Figura 2 – Date di fioritura e T medie nel trimestre pre-fioritura - Azienda Maso Maiano – Staz. di Cles (650 m)

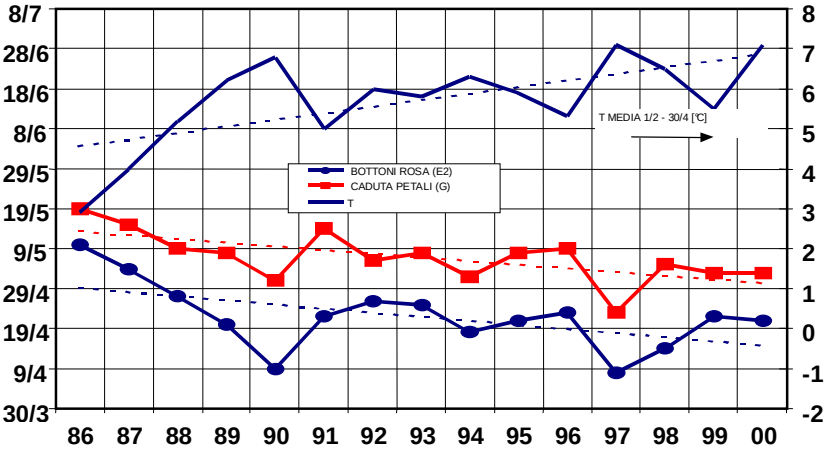


Figura 3 – Temperature minime nei 15 giorni centrati nelle fasi di fioritura. Az. Maso Parti, stazione di S. Michele (210 m)

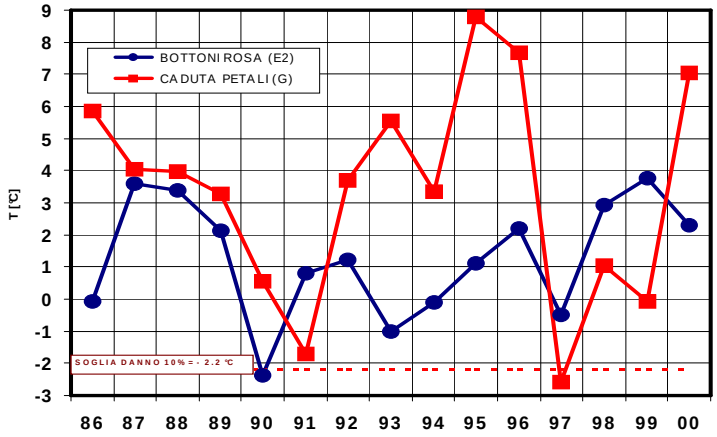


Figura 4 – Temperature minime nei 15 giorni centrati nelle fasi di fioritura. Az. Maso Maiano, stazione di Cles (650 m)

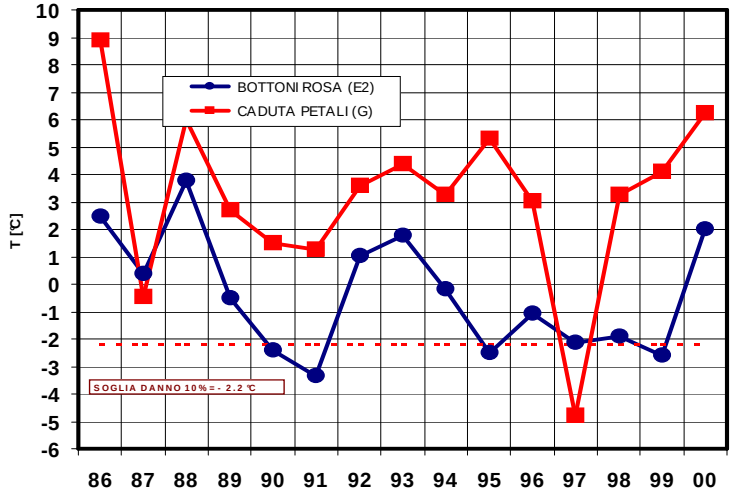
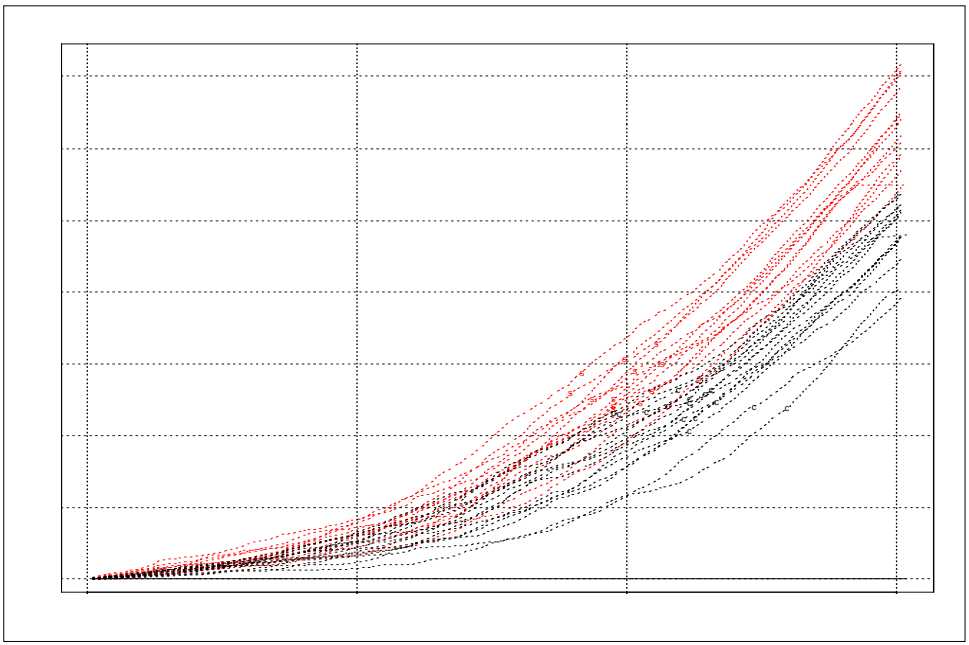


Figura 5 – Cumulo dei gradi ora con soglia a 0 °C (inizio: 1° gennaio). Sono riportate le coppie "data di fioritura – cumulo di gradi ora" (fase E2) per Maso Parti – S. Michele ("S") e per Maso Maiano – Cles ("C")



USO DEL PARAMETRO DI BAGNATURA FOGLIARE NELLA PREVISIONE DELLE MALATTIE DELLE PIANTE

A. Cicogna[3], A. Dalla Marta[1], R. Alilla[2], S. Dietrich[2], R. Fabbo[4], M. Gani[3], R. Giovanardi[5], G. Maracchi[1], S. Orlandini[1], M. Sandra[3,5], M. Severini[2]

andrea.cicogna@csa.fvg.it

(1) Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale, Università di Firenze

(2) Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC)/CNR, Roma, Italy

(3) Centro Servizi Agrometeorologici (CSA) per il Friuli V. Giulia

(4) ARPA Friuli Venezia Giulia – Osservatorio Meteo Regionale

(5) Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie - Università di Udine

Riassunto

La bagnatura fogliare è una variabile di grande importanza per lo sviluppo di numerose malattie. La presenza di un velo d'acqua sulla superficie delle foglie, infatti, permette il movimento e la germinazione delle spore di alcuni microrganismi fungini e la loro penetrazione all'interno dei tessuti dell'ospite.

La conoscenza di tale variabile diventa quindi fondamentale per la previsione delle malattie e la difesa delle colture, soprattutto mediante l'applicazione di modelli agrometeorologici di simulazione.

Il presente lavoro ha come obiettivo la messa a punto e il confronto di diversi metodi di stima della durata della bagnatura fogliare. Come input per i modelli di simulazione sono utilizzati i dati del Friuli Venezia Giulia provenienti sia dalle stazioni agrometeorologiche standard sia dal radar polarimetrico GPM-500.

In questo modo è possibile verificare l'attendibilità e l'efficacia dei due diversi metodi di misurazione. Gli stessi dati costituiscono inoltre l'input di una rete neurale in grado di simulare le ore di bagnatura fogliare in base alle interazioni tra i diversi parametri agrometeorologici. Oltre all'utilizzo di modelli preesistenti il lavoro prevede la costruzione e la validazione di un nuovo modello fisico messo a punto per le specifiche condizioni del nostro territorio

Le ore di bagnatura fogliare stimate con i diversi metodi sono quindi confrontate con quelle misurate in campo. In seguito i dati simulati e i dati veri serviranno per creare i file di input per un modello di simulazione della peronospora della vite.

Abstract
Leaf wetness duration is an important parameter for the development of plant diseases. The presence of free water on plant organs in fact allows the movement and the germination of some fungal spores and their penetration in the host tissues. It follows that the knowledge of LWD becomes fundamental for plant diseases forecasting and, consequently, for crop protection, overall by the application of agrometeorological simulation models. The aim of this work was the set up and the comparison of different methods for LWD estimation. The meteorological data used as input were collected both from standard weather stations and from the polarimetric radar GPM-500. in this way it was possible to verify the reliability and the efficiency of the two different measurement methods. The same data were used as input to build an artificial neural network capable to find out the best relationship among them giving back, as output, the values of LWD. Moreover, a new physic model was created and validated for the specific climatic conditions of our territory. The LWD simulated with the different methods was compared with the measured one. Afterward the simulated and the measured data were used to create an input file for an epidemiological simulation model.

Introduzione

La bagnatura fogliare è un parametro agrometeorologico fondamentale per la previsione delle malattie delle piante. Vista la sua importanza, è stato proposto un progetto di studio sulla bagnatura fogliare che vede coinvolti più gruppi di lavoro sparsi in Italia e all'estero. Tale progetto è inserito nell'ambito dell'azione COST 718 (Meteorological Applications for Agricolture), il cui scopo è quello di incrementare l'uso d'informazioni meteorologiche in agricoltura e nella protezione ambientale(Orlandini *et al.*, 2002).

L'obiettivo principale del progetto di studio è sviluppare e validare un modello per la stima della durata della bagnatura fogliare a livello territoriale. Gli input da inserire nel modello provengono da dati raccolti in stazioni meteorologiche, ma anche da radar e, in un futuro, da satellite.

La stima della bagnatura a livello territoriale potrà consentire una migliore applicazione di modelli epidemiologici.

Il proposito di giungere ad un modello di bagnatura fogliare è multidisciplinare e alla sua riuscita in Italia collaborano gruppi di lavoro così distinti:

1. un primo gruppo che opera nel Friuli Venezia Giulia ed ha come scopo la gestione e la validazione dei dati meteorologici; in particolare, si

occupa della gestione dei dati meteo, della produzione di mappe di durata di pioggia e della spazializzazione dei dati stessi;
2. un secondo gruppo che opera a Roma e prende in considerazione lo sviluppo di modelli di bagnatura fogliare, utilizzando modelli di condensazione-evaporazione in relazione al bilancio energetico e partendo da misurazioni effettuate in stazioni meteorologiche;
3. un terzo gruppo che opera a Firenze e si occupa della calibrazione e validazione dei modelli di bagnatura fogliare, nonché dell'applicazione di modelli epidemiologici che simulino lo sviluppo di particolari malattie delle piante.

L'area di studio presa in considerazione per il progetto è la pianura del Friuli Venezia Giulia, dove opera da anni una rete di stazioni meteorologiche e, dal 1997, il radar meteorologico di Fossalon di Grado.

Stima della bagnatura a livello territoriale

Le cause della bagnatura fogliare sono essenzialmente due: la pioggia e la rugiada. Uno studio effettuato in Friuli Venezia Giulia mette in luce come, durante i mesi estivi, la causa della bagnatura fogliare sia nell' 80% dei casi la rugiada e nel restante 20% la pioggia (Cicogna *et al.*, 2002).

L'origine della bagnatura fogliare ha effetti sul modo con cui questa può essere stimata a livello territoriale.

La stima può essere effettuata attraverso l'ausilio di metodi "classici" e di metodi "alternativi".

Nei metodi "classici" i dati di bagnatura fogliare, provenienti da una rete di stazioni meteorologiche, vengono spazializzati secondo diverse metodologie geostatistiche (Wackernagel, 1995).

Purtroppo alcuni dati meteorologici come la bagnatura fogliare dovuta alla pioggia sono spazialmente discontinui e quindi non sempre la loro spazializzazione dà risultati sufficientemente precisi.

Un secondo problema è legato agli standard degli strumenti. Infatti per il fenomeno della bagnatura non esistono degli strumenti di riferimento (Sabatini *et al.*, 2002).

I metodi "alternativi" prevedono l'uso congiunto di modelli di simulazione della bagnatura fogliare, di misure effettuate puntualmente in una rete di stazioni e di dati ottenuti attraverso strumenti di remote sensing (radar e/o satellite).

I dati quali la temperatura, l'umidità, la pressione, il vento, la radiazione, misurati in maniera puntuale nelle diverse stazioni, vengono spazializzati su una griglia. La pioggia viene invece stimata attraverso il radar (o il satellite). In ogni punto della griglia un modello di simulazione stima la bagnatura fogliare (sia quella dovuta a fenomeni di condensazione che alla pioggia), grazie ai dati di input provenienti da stazione o da remote sensing.

I vantaggi dei modelli di simulazione sono duplici: riescono a prevedere, con una buona precisione, la durata della bagnatura fogliare e, in secondo luogo, risolvono il problema degli standard degli strumenti.
I vantaggi, invece, del remote sensing sono connessi alla migliore descrizione spaziale di un fenomeno discontinuo come la pioggia (Bechini *et al*., 2001).

Strutturazione del progetto di studio

Il progetto può essere schematizzato in vari passi:

1) Primo passo: acquisizione dei dati

I dati provenienti da stazioni meteorologiche vengono prima validati e poi interpolati in modo da giungere alla creazione di un griglia di valori agrometeorologici. Anche i dati radar (o da satellite) vengono valicati, ed essendo già delle griglie, assieme ai dati puntuali spazializzati, vanno direttamente a formare il database territoriale finale.
Nel progetto di studio è stato considerato un periodo temporale ben preciso (1/4/2000-30/09/2000 e 1/4/2001-30/09/2001).
Su questi dati sono state effettuate alcune valutazioni (Cicogna *et al.*, 2002). La prima riguarda il confronto tra dati di pioggia stimati da radar e quelli misurati nelle stazioni.
A titolo di esempio, per il giorno 16/9/2000 sono state costruite delle mappe di durata di pioggia giornaliera partendo da mappe radar (fig 3) o spazializzando i dati di pioggia misurati in ogni stazione a terra(fig.4). Si è evidenziato come le ore di durata della pioggia, variabile fortemente correlata con il tempo di bagnatura fogliare, sia molto diversificata sul territorio. La spazializzazione di tale variabile, a partire dai dati raccolti dalle stazioni meteorologiche, fornisce mappe di pioggia che, nonostante ricalchino quelle ottenute con il radar, presentano localmente (rispetto a queste ultime) differenze molto significative.(figura 4)
Queste differenze possono assumere ancora più importanza se si pensa di utilizzare tali dati in modelli epidemiologici.
Una seconda valutazione riguarda la verifica, effettuata su circa 83.000 casi, della possibilità di stimare la durata della bagnatura fogliare dovuta alla pioggia attraverso l'uso del Radar, analisi che ha dato esiti positivi. Si è visto, infatti, che esiste una buona correlazione tra piogge stimate da Radar e numero di ore di bagnatura fogliare. In tabella 1 è illustrato il confronto tra i dati provenienti da radar e da stazioni meteorologiche, dove sono attivi pluviometri e sensori di bagnatura. In particolare, nella tabella sono classificate tutte le ore di misura nel periodo in esame (1/4/2000-30/09/2000 e 1/4/2001-30/09/2001) in funzione della presenza (o assenza) di pioggia stimata da radar o misurata da pluviometro e della presenza (o assenza) di

bagnatura fogliare; l'errore commesso è inferiore al 2% nei casi osservati e quindi il radar presenta una buona precisione nello stimare la bagnatura fogliare dovuta alla pioggia.

2) Secondo passo: calcolo della bagnatura fogliare a livello territoriale

Una volta creato un database sia per dati da stazioni a terra, sia per quelli da radar, tali dati possono essere utilizzati in modelli per la stima della bagnatura fogliare.

In particolar modo, nel progetto di studio sono stati testati tre tipi di modelli di bagnatura fogliare (Dalla Marta *et al*.,2002):

1 ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (RN): sono sistemi di elaborazione costituiti da molte unità di calcolo (neuroni), ciascuna dotata di una piccola quantità di memoria, connesse tra loro da canali di comunicazione (sinapsi) che trasportano dati numerici. Le RN hanno la capacità di mappare le relazioni tra input e output, ovvero di costruirsi un modello interno delle relazioni tra le grandezze che partecipano a un dato fenomeno, a partire da dati sperimentali (Patterson, D.W.,1996)

2 DROPBEN (Wittich, Germania): il modello è costituito da due sotto-moduli: il primo simula la formazione e l'evaporazione della rugiada ed è attivo quando non piove ed il secondo simula il tempo di evaporazione delle gocce di pioggia depositate sulle foglie; la bagnatura fogliare inizia con l'inizio della pioggia e finisce quando le gocce sono totalmente evaporate (Wittich, 1993)

3 SWEB (Magarey, USA): è costituito da 4 moduli: il primo descrive la distribuzione dell'acqua sulle foglie, il secondo esegue un "bilancio idrico" sulla canopy, nel terzo viene risolto il bilancio energetico, nel quarto si tiene conto dell'influenza del vento (Magarey, 1999)

Il confronto tra questi tre modelli ha dato i seguenti risultati:

- ogni modello utilizzato tende a sovrastimare la durata della BF;
- il limite più evidente di ogni modello sembra essere legato alla sovrastima del periodo di evaporazione;
- molti modelli danno un output orario 0/1 (dry, wet); per avere dei risultati standard è importante stabilire delle soglie efficaci che discriminino in modo non ambiguo tra ora con foglia bagnata e ora con foglia asciutta.

Oltre a testare modelli presenti in bibliografia, il gruppo di lavoro ha sviluppato un modello "in proprio" che calcola la bagnatura fogliare risolvendo l'equazione del bilancio energetico. Lo sforzo in questo sottoprogetto è stato quello di riuscire a sviluppare un modello che potesse funzionare a partire dai dati di una stazione agrometeorologica standard. Solitamente nelle stazioni agrometeorologiche non viene misurato un

parametro importante come la radiazione netta e questo rappresenta un grosso limite, specie in condizioni di cielo coperto (Severini *et al.* , 2002).

3) Terzo passo: applicazione in modelli epidemiologici

Una volta create le mappe di bagnatura fogliare, oltre ovviamente a quelle degli altri dati meteorologici, è possibile far girare su ogni punto della griglia dei modelli epidemiologici.

Vista l'importanza della coltura della vite in Friuli Venezia Giulia e della forte pressione in questo ambiente della *Plasmopara viticola,* il primo modello testato ha riguardato proprio quest'ultimo patogeno. Si sono effettuate delle prime simulazioni utilizzando il Modello PERO.

PERO (Hoppman *et al.*, 1997) è un modello fisico in grado di calcolare l'inizio delle infezioni primarie di Peronospora e il loro sviluppo, la durata del periodo di incubazione, il verificarsi delle infezioni secondarie e il grado d'attacco della malattia, espresso in numero di macchie d'olio per ettaro. Gli input utilizzati dal modello sono molteplici: giorno di inizio dell'infezione primaria (opzionale), umidità relativa (%), precipitazioni (mm), temperatura (°C), bagnatura fogliare (si/no).

In queste simulazioni sono stati utilizzati dati di bagnatura direttamente misurati in stazione o simulati mediante SWEB, DROPBEN o RN.

Dall'applicazione di PERO sono derivati i seguenti risultati:

- l'andamento generalmente esponenziale delle infezioni accentua le conseguenze di leggere sovrastime iniziali di bagnatura fogliare. In questo senso i modelli di bagnatura fogliare utilizzati fanno simulare a PERO più cicli infettivi all'anno rispetto a quelli che si riscontrano con i dati di BF misurati (figura 5);
- inoltre questo evidenzia quanto la bagnatura fogliare sia una variabile critica nella simulazione delle malattie (parametro soglia e di intensità della malattia).

Risultati preliminari del progetto di studio

In conclusione, è possibile affermare che:

1) Il radar polarimetrico GPM-500 (Fossalon di Grado) è un buon strumento per stimare la bagnatura fogliare dovuta a pioggia Tale strumento può fornire delle mappe di bagnatura fogliare dovuta alla caduta della pioggia molto dettagliate commettendo, verosimilmente, un errore più piccolo di quello ottenibile spazializzando i dati delle singole stazioni.

   Purtroppo, almeno i 4/5 dei casi di bagnatura fogliare non possono essere stimati dal radar, visto che si tratta di bagnatura dovuta al deposito della rugiada. In questo senso, diventa molto importante l'utilizzo di modelli di

simulazione per stimare il deposito di rugiada e i relativi tempi di asciugatura dell'acqua dalle foglie.

2) Si rende necessaria inoltre la creazione di un modello di bagnatura fogliare maggiormente "performante" in presenza di copertura nuvolosa.
3) La bontà della stima della bagnatura fogliare ha effetti rilevanti negli output di modelli che simulano il ciclo della *Plasmopara viticola.*

Figura 1 - Dislocazione delle stazioni meteorologiche in Friuli Venezia Giulia; ci sono 380 stazioni in tutta la regione, di cui almeno 88 (pallini blu) sono utilizzate per la difesa guidata in viticoltura.

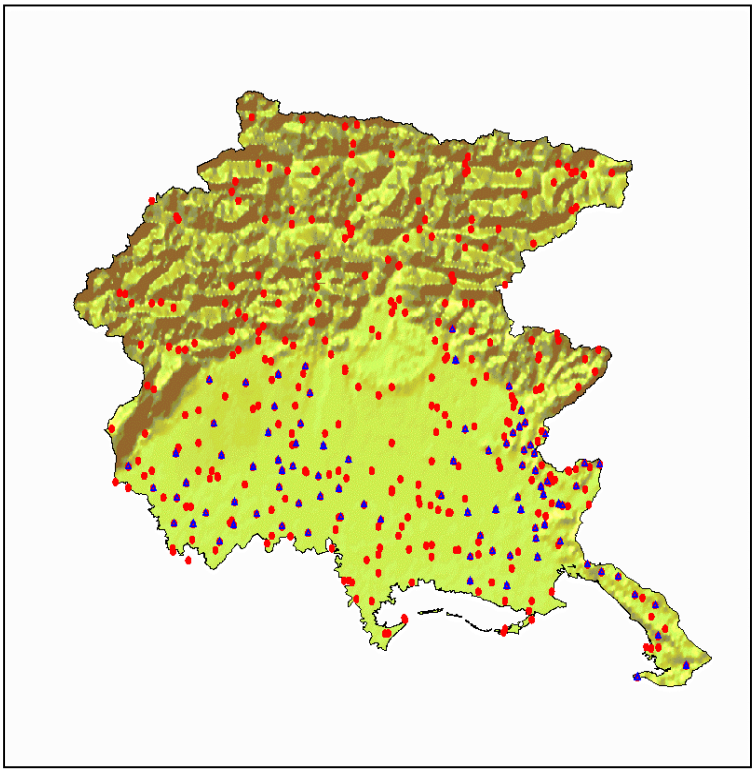
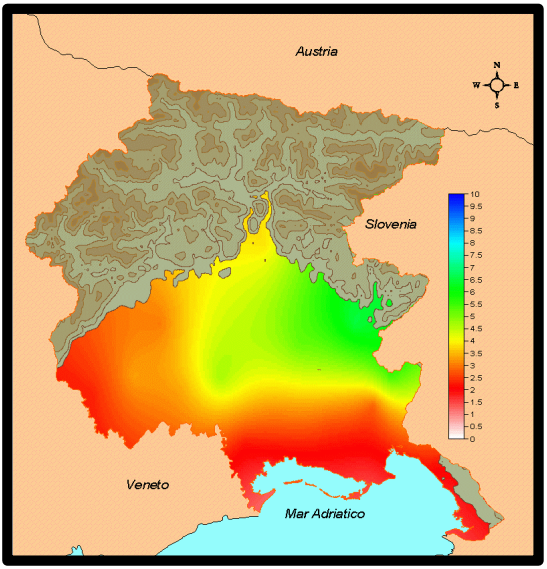


Figure 2 e 3 - Mappe di durata della pioggia ottenuta rispettivamente spazializzando i dati a terra (in alto) e a partire dai dati radar (in basso).



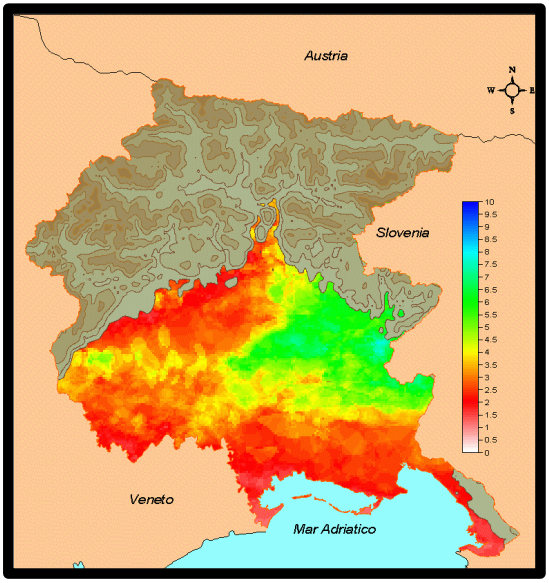


Figura 4 - Mappa della differenza delle durate di pioggia delle mappe 2 e 3

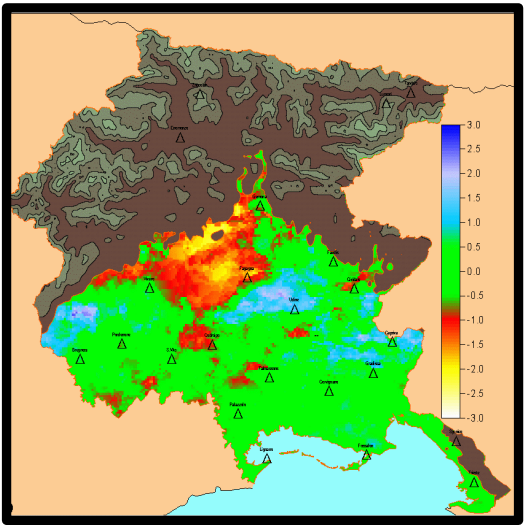
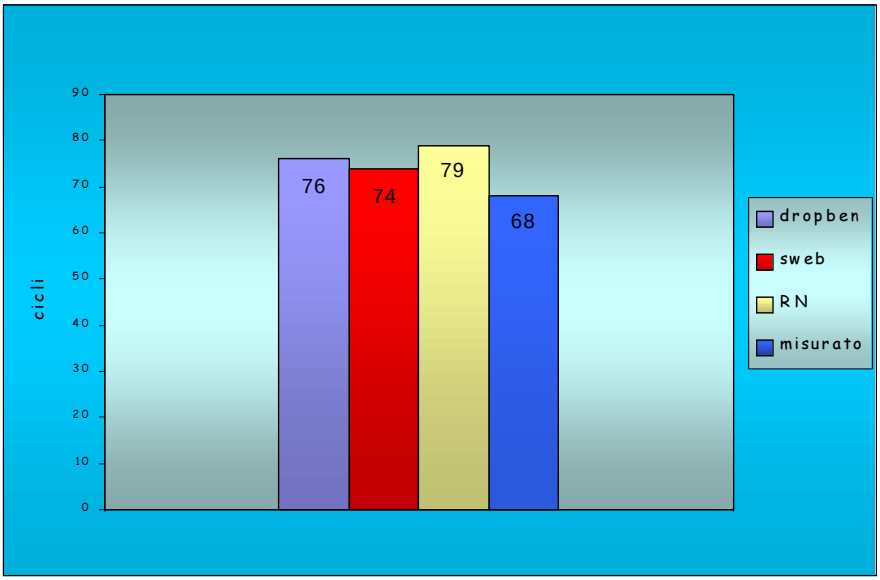


Tabella 1 - Classificazione delle ore del periodo preso in esame in funzione della presenza (S) o assenza (N) di pioggia stimata da radar o misurata da pluviometro e della presenza o assenza di bagnatura fogliare.

Tipologia	Sensore di bagnatura	Pluviometro	Radar	Dati	% sui parziali	% sul totale
1	S	S	S	3716	16.7%	4.5%
2	S	S	N	830	3.8%	1.0%
3	S	N	S	600	2.7%	0.7%
4	S	N	N	17109	76.8%	20.5%
			Parziale	22255	100.0%	26.7%
5	N	S	S	0	0.0%	0.0%
6	N	S	N	12	0.0%	0.0%
7	N	N	S	138	0.2%	0.2%
8	N	N	N	61069	99.8%	73.2%
			Parziale	61219	100.0%	73.3%
			Totale generale	83474		100.0%

Figura 5 – Confronto tra i diversi modelli di bagnatura fogliare applicati a PERO per la misurazione dei cicli infettivi di Peronospora



Bibliografia

Bechini R., Gorgucci E., Scarchilli G., Dietrich S., 2002. The operational weather radar of Fossalon di Grado (Gorizia, Italy): accuracy of reflectivity and differential reflectivity measurements meteorol. atmos phys 79 (2002) 3-4, 275-284;

Cicogna A., Dietrich S., Gani M., Giovanardi R., Sandra M., 2002. Stima della bagnatura fogliare dovuta alla pioggia attraverso misure radar. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press.*

Dalla Marta A., Cicogna A., De Vincenzi M., Gani M., Orlandini S., 2002. Studio comparativo di alcuni metodi di stima della bagnatura fogliare. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press.*

Hoppmann D., Wittich K. P., 1997. Epidemiology-related modelling of the leaf-wetness duration as an alternative to measurements, taking *Plasmopara viticola* as an example. - j. of plant dis. a. protect. 104 (6),533-544

Magarey R.D., Weiss A., Gillespie T., Huber L., Seem R.C., 2001. Estimating surface wetness duration on plants - *in Press.*

Orlandini S., Dietrich S., 2002. La bagnatura fogliare: un parametro agrometeorologico fondamentale per la previsione delle malattie delle piante. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.

Sabatini F., Dalla Marta A., Orlandini S., 2002. Sensori per la misura della bagnatura fogliare: stato dell'arte e problematiche d'impiego. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press.*

Severini M., Alilla R., Dietrich S., Orlandini S., Cossu A., 2002. Calcolo del deposito e della evapotraspirazione tramite le misure di una stazione agrometeorologica standard. In: II Giornate di studio su Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni (Pisa, 20-23 maggio 2002) - *in Press*.

Wackernagel H. 1995., Multivariate Geostatics: Introdution with Application. Springer-Verlag, Berlin 256p.

Patterson, D.W.,1996, Artificial neural networks: theory and applications, Simon & Schuster, Singapore, pp. 477.

Wittich K.P., 1993 - Ansätze zur Abschätzung der Blattbenetzungsdauer. DWD intern 54 (Beitrage zur Agrarmeteorologie 1/93), Deutscher Wetterdienst. Offenbach: p.44.

Magarey R.D., 1999 - A theoretical standard for surface wetness estimation. Ph.D. Diss. Cornell University, Ithaca, NY.

LA VARIABILITÀ DELLA TEMPERATURA E DELLA PRECIPITAZIONE COME FATTORE AGRICOLO

C.Pona[1], G.Fontana[2], G.Sourkova[3]
(1) ENEA, CR Casaccia, Via Anguillarese 301, 00060 S.Maria di Galeria, Roma
(2) Master in Ingegneria del Suolo e delle Acque, Politecnico di Milano
(3) Moscow State University. Fac. Of Geography, Dept. of Meteorology
pona@casaccia.enea.it

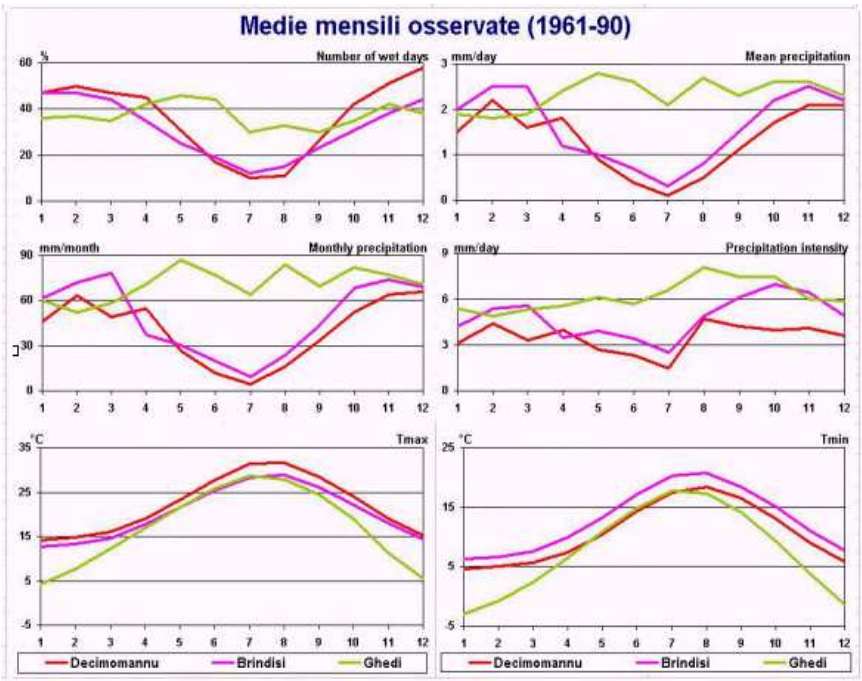
Riassunto
Viene presentata una applicazione del modello CERES wheat per la Simulazione dell'effetto dei cambiamenti climatici sulle produzioni di Triticum Durum in vari ambienti dell'area italiana.
Abstract
Ceres wheat model is here applied for the simulation of the effects of climatic change on crop yield of Triticum durum in some different Italian environments.

Introduzione

C'è una grande incertezza su come i raccolti agricoli possano rispondere ai cambiamenti climatici, sebbene sia ben noto, a livello qualitativo, che i cambiamenti nella variabilità climatica possono avere, ed hanno effettivamente conseguenze importanti sulle produzioni. Il passato è ricco di fluttuazioni climatiche e/o di eventi climatici estremi con importanti effetti sull'agricoltura, come ad esempio la grande siccità che colpì negli anni '30 le Great Planes negli Stati Uniti.
Tuttavi la vulnerabilità agricola alle fluttuazioni climatiche, nonostante i notevoli miglioramenti tecnologici degli ultimi decenni, non è diminuita apprezzabilmente in tempi più recenti. Ogni anno infatti si assiste, in presenza di eventi climatici estremi (grandi siccità, ondate di gelo o di caldo, alluvioni) a allarmi più o meno giustificati da parte degli agricoltori che denunciano perdite enormi di produzione agricola, se non di interi raccolti. Anche nello scorso inverno una concomitanza di gelo e siccità invernale ha causato una grave allarme per le produzioni ortofrutticole.
Inoltre, alla luce di possibili cambiamenti climatici dovuti, per esempio all'aumento della concentrazione di gas serra in atmosfera, c'è una sempre maggiore evidenza che si verranno a instaurare cambiamenti climatici non solo nelle medie climatiche, ma anche nei momenti di ordine superiore delle variabili più importanti. Questo fatto è particolarmente evidente per le precipitazioni (in molte regioni del pianeta, la tendenza è verso regimi con

un numero minore di eventi ma più intensi) e per la temperatura (maggiore frequenza di ondate di calore e gelate sempre più lunghe e fuori stagione).
I raccolti agricoli sono particolarmente sensibili alla variabilità e in particolar modo agli eventi estremi. Si può dimostrare che i cambiamenti della variabilità climatica hanno un effetto maggiore per quanto riguarda la comparsa di fenomeni climatici estremi che non una variazione nelle medie di una particolare variabile climatica.
In questo lavoro presentiamo gli effetti dovuti a cambiamenti climatici ad alta frequenza (cioè su scala annuale fino a giornaliera) di temperatura e precipitazione sui raccolti agricoli, valutati con l'impiego del modello colturale CERES-Wheat (Ritchie and Otter, 1985).
Diversi lavori (Mearns et al., 1992) hanno indagato l'effetto dei cambiamenti nella variabilità primaria interannuale del clima sulle rese colturali, usando un approccio semplice basato sulla modifica della varianza delle principali variabili meteorologiche delle serie temporali osservate. Tale approccio, sebbene produca un gran numero di informazioni utili, appare irrealistico in quanto i cambiamenti nella variabilità interannuale sono considerati indipendenti dai cambiamenti nella variabilità giornaliera.

Figura 1 – caratteri termopluviometrici delle stazioni oggetto d'indagine



Nel lavoro di Mearns et al. la variabilità del raccolto aumenta con l'aumento della variabilità sia della temperatura che della precipitazione. Il valore medio delle rese invece diminuisce con l'aumentare della variabilità delle precipitazioni nelle località relativamente più umide, ma aumenta in località più secche. Gli effetti dovuti al cambiamento della variabilità della precipitazione sembrano più evidenti rispetto a quelli relativi alla temperatura. Questi risultati indicano quindi che si possono verificare impatti significativi sulle rese agricole simulate, anche per cambiamenti nella variabilità climatica, e che tali impatti sono del tutto paragonabili a quelli che si ottengono modificando le medie climatologiche.
In questo lavoro eseguiamo una serie di simulazioni applicando scenari meteorologici costruiti da un generatore stocastico con il quale possiamo modificare a piacimento la variabilità giornaliera di alcune variabili come la temperatura e la precipitazione. Una serie di scenari si riferiscono ad una situazione in cui le medie climatologiche sono identiche a quelle osservate in tre località italiane scelte per le differenti condizioni climatiche: due al Sud Italia (Decimomannu in Sardegna e Brindisi in Puglia) e una al Nord (Ghedi in Lombardia). Le caratteristiche climatologiche delle tre località sono mostrate in figura 1.
Come si vede dai diagrammi, Ghedi è caratterizzata da un regime pluviometrico abbastanza uniforme durante tutto l'anno e abbondante rispetto alle altre due località. Per quanto riguarda la temperatura, invece, si vede che la località sarda presenta per tutto l'anno sempre il valore più elevato di temperatura massima, mentre a Brindisi si trova che la temperatura minima è sempre la più alta delle tre località. Questi significa ovviamente che l'escursione termica a Decimomannu è sensibilmente superiore rispetto a quella di Brindisi. Un'elevata escursione termica di riscontra anche a Ghedi, dove, nei mesi invernali da dicembre a febbraio, la temperatura minima media è inferiore a 0°C mentre nel mese di marzo questa supera di poco tale soglia.
Una seconda serie di scenari, invece, si riferisce ad una situazione in cui si fanno variare i valori medi della temperatura e della precipitazione di una quantità calcolata con i modelli di circolazione generale, per ottenere quello che potrebbe essere il clima in condizione di raddoppio della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera.

Il modello CERES-Wheat: descrizione

CERES-Wheat è un modello numerico valicato in molte località in tutto il mondo, che simula la crescita e le rese del frumento. È stato anche ampiamente usato per studi di valutazione di impatto del cambiamento climatico in tutto il mondo (Rosenzweig et al. 1995).

Il modello CERES-Wheat fa uso di funzioni matematiche semplificate per simulare la crescita e la resa di frumento in funzione di fattori relativi alla genetica della pianta, al tempo atmosferico, al suolo e alla gestione.
I dati meteorologici in input sono la radiazione solare giornaliera (MJ/m^2.day), la temperatura massima e minima giornaliera (°C), e la precipitazione giornaliera (mm/day). Tra i processi simulati nel modello ci sono anche lo sviluppo fenologico, la ripartizione dei prodotti della fotosintesi, la crescita delle foglie e degli steli, la senescenza, l'accumulo di biomassa e la dinamica del sistema radicale. Una descrizione dettagliata si può trovare in Ritchie and Otter (1985) e Rosenzweig (1990).
Il bilancio idrico del suolo viene calcolato in CERES-Wheat per determinare una riduzione nei processi di crescita rispetto alla condizione ideale di assenza totale di stress dovuti a carenza idrica. Quando si simulano esperimenti su molti anni, questo consente di seguire l'andamento dell'umidità del suolo durante il periodo tra un raccolto e la semina successiva.
L'evapotraspirazione viene determinata dalla radiazione solare e dalla temperatura e si basa sul concetto di evaporazione all'equilibrio. Per tener conto di situazioni di aria insatura e per temperature massime elevate e minori di 0°C si applica un fattore correttivo moltiplicativo.
Dalla densità e dalla lunghezza delle radici si calcola l'assorbimento di acqua per traspirazione attraverso un meccanismo di "offerta e domanda".
Il contenuto di acqua di un suolo multistrato viene calcolato come bilancio tra evaporazione, assorbimento radicale, e flusso tra strati adiacenti. Viene calcolato anche il run-off attraverso il metodo delle curve USDA (Williams et Al. 1982).
Per valutare le rese effettive vengono calcolati quattro i fattori di deficit che dipendono dal contenuto di acqua, e che vengono utilizzati per penalizzare la crescita radicale, la fotosintesi, la traspirazione, la crescita di foglie e degli steli e la formazione di germogli. Il più importante tra questi è il fattore di deficit per l'acqua nel suolo (SWDF1) che influisce sulla fotosintesi e sulla traspirazione e che viene definito come il rapporto tra assorbimento radicale e l'evapotraspirazione potenziale della pianta. Il suo valore varia tra 0 (assenza di stress) e 1 (massimo stress). A sua volta questo fattore influisce su altri processi simulati da CERES-Wheat.
In CERES-Wheat sono previsti 3 tipi diversi di fallimento del raccolto: mancanza di germinazione, gelate invernali e un numero non sufficiente di culmi per metro quadrato.
La germinazione fallisce se si verifica una condizione di umidità insufficiente per 40 giorni dopo la semina. Questa condizione è definita come mancanza di acqua estraibile nello strato superficiale o nei due più superficiali contemporaneamente.

Nel modello CERES-Wheat, la routine che descrive il cosiddetto "winter-kill" è molto importante, dato che specialmente nelle Great Plains statunitensi e canadesi si tratta di un evento piuttosto frequente. Alle nostre latitudini, e negli esperimenti effettuati in Italia, questa situazione non si è mai verificata, per cui la citiamo solo per completezza.

L'ultimo caso di fallimento del raccolto si ha quando nello stadio 4 (dalla antesi all'inizio del riempimento della granella) il numero di cariossidi per metro quadrato scende sotto le 100. Questo avviene quando il peso dello stelo è basso, una variabile che dipende molto fortemente dal contenuto di acqua del suolo, attraverso il suo effetto sul LAI (Leaf Area Index, indice foliare). L'effettivo aumento della biomassa dipende da un fattore di deficit dell'acqua; in caso di deficit elevatissimi l'aumento della biomassa si riduce a valori molto bassi.

Il modello CERES-Wheat: validazione

Prima di utilizzare il modello per simulare le rese del frumento, si è proceduto alla sua calibrazione utilizzando i dati sperimentali delle stazioni di prova colturale della rete dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Roma Inviolatella, Catania Libertinia, Fiorenzuola D'Arda e S.Angelo Lodigiano. La calibrazione consiste nel tarare i coefficienti genetici delle cultivar che si intendono utilizzare fino ad ottenere una riproducibilità accettabile dei dati sperimentali disponibili.
I dati meteorologici utilizzati per la calibrazione sono quelli della stazione sperimentale stessa, forniti dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura. Soltanto le serie di radiazione solare, sono state generate con il generatore di dati meteorologici WXGEN (Richardson e Nicks 1990) a partire dai dati di temperatura e precipitazione.
Dopo aver proceduto alla calibrazione, il modello è stato validato facendolo "girare" in annate diverse da quelle utilizzate per la calibrazione, in modo da verificarne l'attendibilità.
Sono state impiegate due cultivar tra quelle maggiormente in uso in Italia: la Duilio e la Creso, quest'ultima ottenuta all'ENEA (Bozzini et al., 1976) negli anni '80 ed utilizzata prevalentemente come varietà test, con una serie storica di sperimentazione di quasi 20 anni.
La validazione del modello è stata condotta su due variabili fenologiche: la resa finale e la data di spigatura. In figura 2 è indicata la validazione per la resa. Per entrambe le cultivar la data di spigatura viene anticipata dal modello di 14 giorni per la Creso (test $t=1.61$, $t_{critico}= 2.03$, $p=0.10$) e di 12 giorni per la Duilio (test $t=1.37$, $t_{critico}= 2.03$, $p=0.18$). Per le rese, invece si ha una sovrastima per la Creso (test $t=-0.71$, $t_{critico}= 2.03$, $p=0.48$) e una

sottostima per la Duilio (test t=0.99, $t_{critico}$= 2.03, p=0.33). La variabilità interannuale è invece molto prossima a quella osservata.

Gli scenari meteorologici

Il modello, calibrato e validato, è stato quindi utilizzato per valutare gli effetti del cambiamento climatico sulle rese del frumento duro (Triticum Durum) e per analizzare la variabilità interannuale delle produzioni.
I dati meteo originali per le località prescelte per la simulazione sono stati forniti dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Tali serie coprono tutto il periodo di riferimento 1961-90, ma non dispongono dei dati di radiazione solare giornaliera. In un primo momento sono stati riempiti i "buchi" dovuti a dati di temperatura e precipitazione mancanti con il generatore WXGEN (Richardson e Nicks 1990), e in secondo momento si è passati alla ricostruzione dei dati di radiazione solare, sempre con WXGEN, a partire dai dati di temperatura massima / minima e precipitazione.

Il generatore stocastico di serie meteorologiche.

Il generatore di Richardson (1991) simula serie di dati meteo giornalieri di temperatura massima e minima, di radiazione solare incidente e di precipitazione. L'occorrenza di precipitazione viene rappresentata da una catena di Markov al primo ordine a due stati che tiene conto della dipendenza stocastica delle serie alternate di giorni secchi e umidi. I parametri stimati sono le due probabilità di transizione P_{11} e P_{01}, che indicano la probabilità che un giorno piovoso segua un giorno piovoso, e la probabilità che un giorno piovoso segue un giorno asciutto. La quantità di pioggia nei giorni piovosi, invece, è simulata con la funzione di distribuzione gamma:

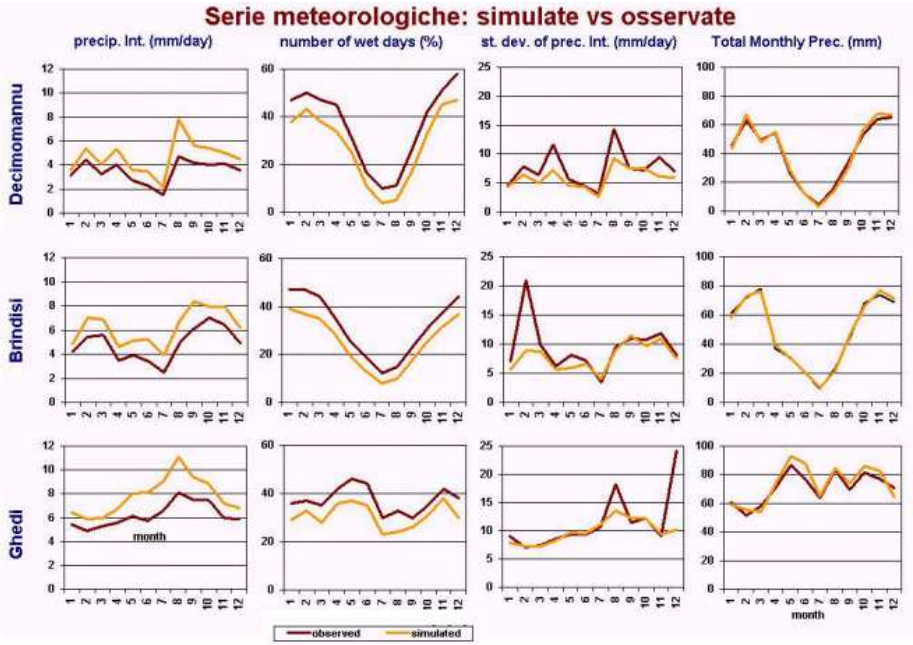
$$f(x) = x^{\alpha-1} e^{(-x\beta^{-1})} / (\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)), x \geq 0$$

dove
α = parametro di forma
β = parametro di scala
$\Gamma(\alpha)$ = funziona gamma di α

La media μ della distribuzione è $\alpha\beta$ e la varianza σ^2 è $\alpha\beta^2$.

Le temperature massima e minima e la radiazione solare vengono simulate come un processo multivariato del primo ordine autoregressivo (per i dettagli si rimanda all'articolo di Richardson).

Figura 2 – confronti fra serie misurate e simulate



Il modello riproduce molto bene le serie relative alla temperatura, sia massima che minima. Per quanto riguarda le precipitazioni (vedasi figura 3), invece, il confronto fra le climatologie osservate (30 anni, 1961-90) e quelle generate con il modello di Richardson mostra che quest'ultimo sottostima in tutte le stagioni dell'anno il numero di eventi piovosi, sovrastimando, di conseguenza l'intensità del singolo evento. Per quanto riguarda invece la quantità mensile di precipitazione, questa è riprodotta molto bene per Decimomannu e Brindisi mentre è leggermente sovrastimata a Ghedi, specialmente in maggio e giugno.

Analisi di Sensibilità.

Per ognuna delle 3 località prescelte abbiamo fatto un'analisi di sensibilità, cambiando la varianza interannuale della temperatura e della precipitazione di un fattore 0.5 e 2. Per generare le nuove serie meteorologiche con varianze alterate, alle serie osservate si è di nuovo applicato il generatore stocastico per ottenere delle nuove serie di dati meteorologici di 100 anni,

con le stesse medie climatologiche dei dati osservati. Per ogni stazione si sono ottenute quindi 5 scenari meteorologici lunghi 100 anni con le caratteritiche riportate nella tabella seguente.

Tabella 1 – caratteristiche degli scenari meteorologici

Scenario	Varianza T	Varianza P	Medie T,P
BASE	*osservata*	*osservata*	*osservata*
PV0.5	*osservata*	*osservata x 0.5*	*osservata*
PV2	*osservata*	*osservata x 2*	*osservata*
TV0.5	*osservata x 0.5*	*osservata*	*osservata*
TV2	*osservata x 2*	*osservata*	*Osservata*

Il significato "fisico" degli scenari sta nella differente probabilità, rispetto ai dati osservati, del verificarsi di eventi termo-pluviometrici estremi e nella maggiore variabilità delle stesse grandezze su scala giornaliera. Riducendo la varianza, infatti, la probabilità di eventi estremi decresce sensibilmente e il clima così generato è più uniforme nel tempo. Nell'altro caso, raddoppiando la varianza osservata, invece, è più probabile ottenere sia valori estremi, più "lontani" dalle medie, che ondate di calore, gelate e grandi eventi piovosi. Tutti questi fattori come si vedrà influiscono nelle rese agricole.

Risultati

Il modello DSSAT non consente, se non con particolari metodiche, di variare anno per anno le pratiche di gestione. Per ragioni di semplicità e velocità, considerando che in questo studio si cerca di isolare l'effetto diretto del cambiamento della varianza delle variabili fisiche più importanti ai fini della coltivazione, abbiamo considerato, per ogni anni, una data di semina fissa, che rappresenta una media tra le date effettivamente utilizzate negli esperimenti in zone vicine. Il suolo utilizzato è un suolo medio della regione in cui si trova la località in studio.

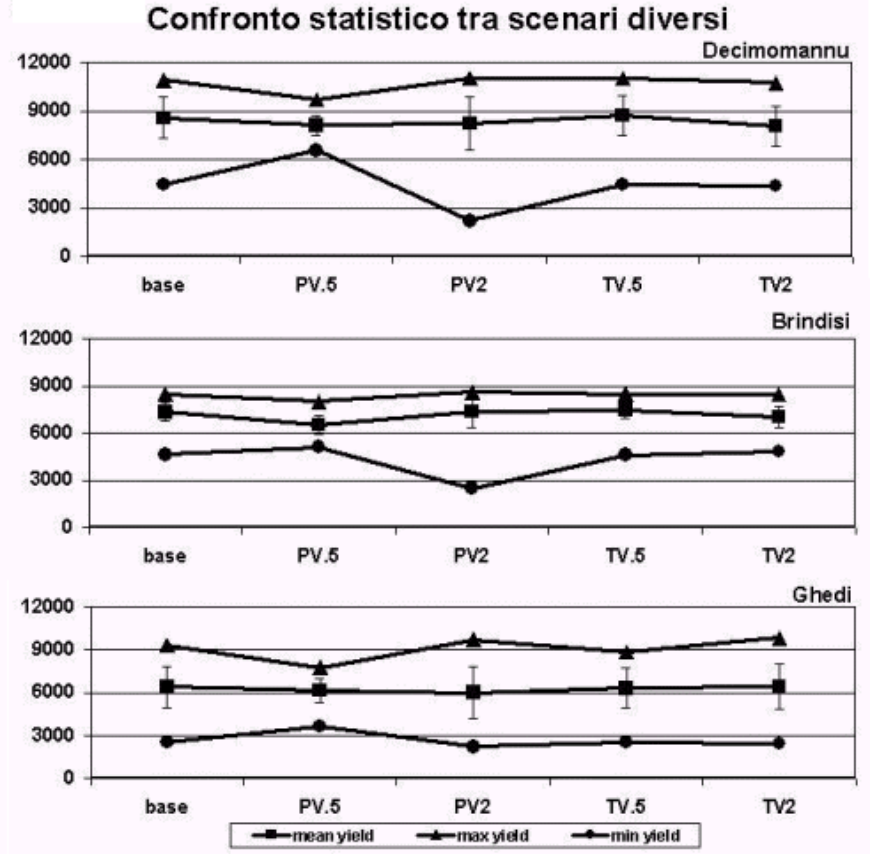
Per isolare l'effetto del cambiamento delle varianze rispetto ad altri fattori, si è fatto girare il modello trascurando gli stress da carenze di nutrienti, che in taluni casi influiscono sulle rese assai più degli eventi meteo estremi.

La tabella 2 mostra in maniera sintetica i risultati ottenuti simulando le rese per il frumento duro, cultivar Creso, nelle tre località prese in considerazione, applicando gli scenari meteorologici di tabella 1.

Tabella 2 – statistiche di resa per i cinque scenari.

DECIMONANNU					
	base	*PV.5*	*PV2*	*TV.5*	*TV2*
Mean yield, kg/ha	8570	8131	8217	8721	8065
Max yield, kg/ha	10922	9712	11043	11034	10745
maturity day	169	173	173	168	168
Min yield, kg/ha	4441	6549	2205	4433	4373
maturity day	164	163	166	165	164
Standard deviation, kg/ha	1276	607	1647	1259	1254
Harvest Index, kg/kg*					
max yield year	0,565	0,576	0,543	0,562	0,579
min yield year	0,349	0,509	0,232	0,345	0,369
BRINDISI					
	base	*PV.5*	*PV2*	*TV.5*	*TV2*
Mean yield, kg/ha	7346	6530	7348	7496	7019
Max yield, kg/ha	8466	7999	8616	8508	8454
maturity day	171	173	175	168	179
Min yield, kg/ha	4625	5123	2495	4587	4829
maturity day	169	154	169	170	169
Standard deviation, kg/ha	579	598	985	529	692
Harvest Index, kg/kg+B55					
max yield year	0,548	0,536	0,514	0,518	0,530
min yield year	0,390	0,543	0,242	0,383	0,412
GHEDI					
	base	*PV.5*	*PV2*	*TV.5*	*TV2*
Mean yield, kg/ha	6387	6159	6001	6317	6426
Max yield, kg/ha	9315	7778	9722	8843	9826
maturity day	209	209	173	210	208
Min yield, kg/ha	2514	3634	2205	2522	2411
maturity day	210	207	166	211	209
Standard deviation, kg/ha	1446	813	1822	1384	1544
Harvest Index, kg/kg					
max yield year	0,501	0,494	0,506	0,487	0,521
min yield year	0,239	0,287	0,204	0,242	0,231

Figura 3 – rappresentazione grafica dei dati in tabella 2.



Per ogni scenario, abbiamo riportato, oltre alla resa media (sui 99 anni di raccolto), anche i valori di resa massima e minima con l'indicazione del giorno di maturazione a partire dal 1° gennaio (doy, day of the year), della deviazione standard, e dell'indice di raccolta per gli anni di massima e minima resa.

In figura 3 viene fornita una rappresentazione grafica dei risultati di tabella 2. Come si può notare risulta evidente l'assenza di notevoli differenze rispetto alla situazione di BASE; infatti solo in un caso, vale a dire lo scenario PV0.5 a Brindisi, si ha una differenza nella resa media superiore al 10%. Nonostante questo la variabilità interannuale, rappresentata sul grafico tramite i valori di massima e minima resa nei 99 anni di simulazione, presenta una notevole variabilità.

In particolare, in tutte le località, lo scenario PV0.5 presenta la deviazione standard più piccola, il che significa, in termini di produttività, l'assenza di annate particolarmente negative o particolarmente produttive. Viceversa, lo scenario PV2, in presenza cioè di una variabilità nella precipitazione doppia rispetto a quella dei dati meteorologici osservati, mette in evidenza il verificarsi di annate decisamente scarse, con valori minimi molto bassi rispetto al valor medio e allo stesso tempo anche i valori in assoluto più elevati, indice di annate particolarmente favorevoli dal punto di vista meteorologico.
In generale, la risposta delle rese a scenari meteorologici con variabilità modificata mostra delle differenze nei valori assoluti ma mette in evidenza alcune linee di tendenza.

Precipitazione

In condizioni BASE si vede che le rese più alte si riscontrano a Decimomannu, con un coefficiente di variabilità (CV) del 14.9%. Le rese più basse e la variabilità più alta invece si riscontrano a Ghedi (CV=22.6%), in Lombardia, dove evidentemente, a parità di condizioni, il regime climatico più continentale porta già di per se a eventi climatici di variabilità superiore rispetto alle altre due località, con eventi piovosi più concentrati e escursioni termiche più evidenti sia a bassa che ad alta frequenza. Ricordiamo che in questi esperimenti semplificati non si tiene conto di fattori come lo stress da nutrienti e come la composizione dei suoli, che invece hanno particolare importanza in campo.
Lo scenario PV2, in tutte le località, porta alla più evidente e grande (anche numericamente) variabilità nella resa interannuale, dovuta al fatto che in un regime di questo tipo, in cui le precipitazioni si concentrano su eventi piovosi numericamente inferiori ma più intensi, aumentano anche i periodi secchi. Quando i periodi secchi cadono in prossimità degli stadi fenologici della pianta che più soffrono per stress idrici, la resa ne viene ridotta considerevolmente. Il CV a Ghedi, per esempio, passa da 22.6% a 30.4%, a Decimomannu da 14.9% a 20.0% e a Brindisi da 7.9% a 13.4%.
Lo scenario PV0.5 mostra una riduzione nelle rese (-5.1% a Decimomannu, -11.1% a Brindisi, -3.6% a Ghedi), ma anche il coefficiente di variazione più basso (7.5% a Decimomannu, 9.2% a Brindisi, 13.2% a Ghedi) tra tutti gli scenari generati a partire da BASE.
E' interessante constatare che l'indice di raccolto (Harvest Index, HI), cioè la frazione di biomassa accumulata nella granella, presenta la minima variazione tra l'annata di massima e l'annata di minima resa. Mantenendosi sempre su valori elevati e confrontabili con lo scenario BASE (superiore a 50%) nelle due stazioni meridionali, mentre negli altri scenari il suo valore diminuisce sensibilmente in tutte le località.

Temperatura

Le variazioni della deviazione standard in temperatura sembrano essere meno influenti ai fini delle rese rispetto alla precipitazione.
Nello scenario TV0.5 i valori delle medie differiscono, rispetto allo scenario BASE al massimo per 1.7% a Decimomannu, e quindi non in modo statisticamente significativo, visto il CV di 14.4%. Anche il valore di CV non differisce significativamente da BASE.
Lo scenario TV2 presenta un leggero calo nelle rese (-5.8% a Decimomannu, -4.5% a Brindisi, inalterato a Ghedi), che anche in questo caso non arriva comunque a una significatività statistica apprezzabile. Il CV risulta leggermente superiore rispetto al caso BASE.

Sensibilità al Cambiamento Climatico

I modelli di circolazione generale (GCM), oltre a essere utilizzati per riprodurre il clima osservato, sono molto utili per fare previsioni sul clima futuro. Una applicazione è la previsione del clima per un aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera, e, più in generale, per aumenti della forzante radiativa dovuti alla presenza di gas ad effetto serra in atmosfera. In questo studio ci limiteremo a considerare l'effetto di un raddoppio della concentrazione atmosferica di CO_2 rispetto al valore pre-indistriale di fine XVIII secolo, cioè 560 ppm.
Per generare le nuove serie meteorologiche da dare in input al DSSAT per valutare le rese, abbiamo ricavato, dal modello di circolazione generale regionalizzato MM4 sviluppato all'National Center for Atmospheric Research (NCAR) di Boulder (Colorado, USA), le medie mensili degli aumenti di temperatura (ΔT) e le medie dei rapporti tra le precipitazioni (rP) tra le run in condizioni di raddoppio di concentrazione di CO_2 (2CO2) e le run in condizioni attuali (CNTL).
I valori di ΔT e rP ottenuti, sono stati sommati (ΔT) e moltiplicati (rP) al valore BASE. La serie meteorologica così ottenuta è stata quindi "data in pasto" al generatore di serie meteorologiche utilizzato in precedenza per ottenere, anche in questo caso, uno scenario base per raddoppio di CO2, che chiameremo NN, con gli stessi valori di varianza di temperatura e precipitazione, e, in maniera del tutto simile al caso di clima osservato, i 4 scenari a variabilità modificata, già ottenuti nella situazione di clima attuale o osservato. Per distinguere gli scenari dal caso precedente li abbiamo chiamati come nella tabella che segue, dove la prima lettera indica la varianza della temperatura, e la seconda la varianza della precipitazione. Il valore N, indica che la varianza è la stessa (Normal) delle osservazioni, H (Halved) che è dimezzata e D (Doubled) che è raddoppiata. In questo caso

la lunghezza delle serie meteorologiche generate è stata limitata a 30 anni, ottendo di conseguenza 29 dati di resa per ciascuna località.

scenario	**Varianza T**	**Varianza P**	**Medie T,P**
NN	*osservata*	*osservata*	*osservata*
NH	*osservata*	*osservata x 0.5*	*osservata*
ND	*osservata*	*osservata x 2*	*osservata*
HN	*osservata x 0.5*	*osservata*	*osservata*
DN	*osservata x 2*	*osservata*	*osservata*

In questo caso abbiamo fatto girare il modello CERES-Wheat per tutte le località di cui erano disponibili dati meteorologici sufficienti (cioè con meno del 10% di dati mancanti, per ridurre al minimo gli errori dovuti alle tecniche di ricostruzione dei dati mancanti). Abbiamo comunque escluso le stazioni sulle isole minori e le stazioni di montagna. Non essendo, infatti, interessati al valore effettivo delle rese, ma soltanto alle variazioni tra il caso BASE e i vari scenari di raddoppio di CO2 in atmosfera, abbiamo potuto prendere in considerazione tutte le stazioni disponibili.
Le stazioni selezionate con questi criteri sono risultate 62, sparse in tutto il territorio italiano ed i risultati ottenuti confermano la tendenza riscontrata anche in letteratura, di una marcata riduzione delle rese in caso di cambiamento climatico. Ricordiamo che l'entità dell'aumento di temperatura previsto dal modello GCM-MM4 varia da 4 a 6 °C a seconda della località e della stagione e che per le precipitazioni si fornisce un aumento medio annuale, concentrato soprattutto nei mesi invernali, almeno come quantità di pioggia, e una marcata riduzione in altri periodi dell'anno, particolarmente in primavera e autunno. Nei mesi estivi al sud viene previsto un aumento notevole della precipitazione, in valori relativi anche di 10 volte, ma che in termini di mm di pioggia al suolo risulta comunque modesto.
I valori delle rese ottenuti sono plottati nelle figure 4-8 e si riferiscono al confronto delle rese tra gli scenari in caso di raddoppio di CO_2 e clima attuale, in caso di stessa varianza di temperatura e precipitazione.
Si vede abbastanza chiaramente una generalizzata riduzione delle rese su tutto il territorio italiano tranne che la Puglia, con riduzioni più marcate sulla pianura padana (fino al 50% in meno).

Figura 4 - Scenario NN – Confronto 2CO2vsCNTL

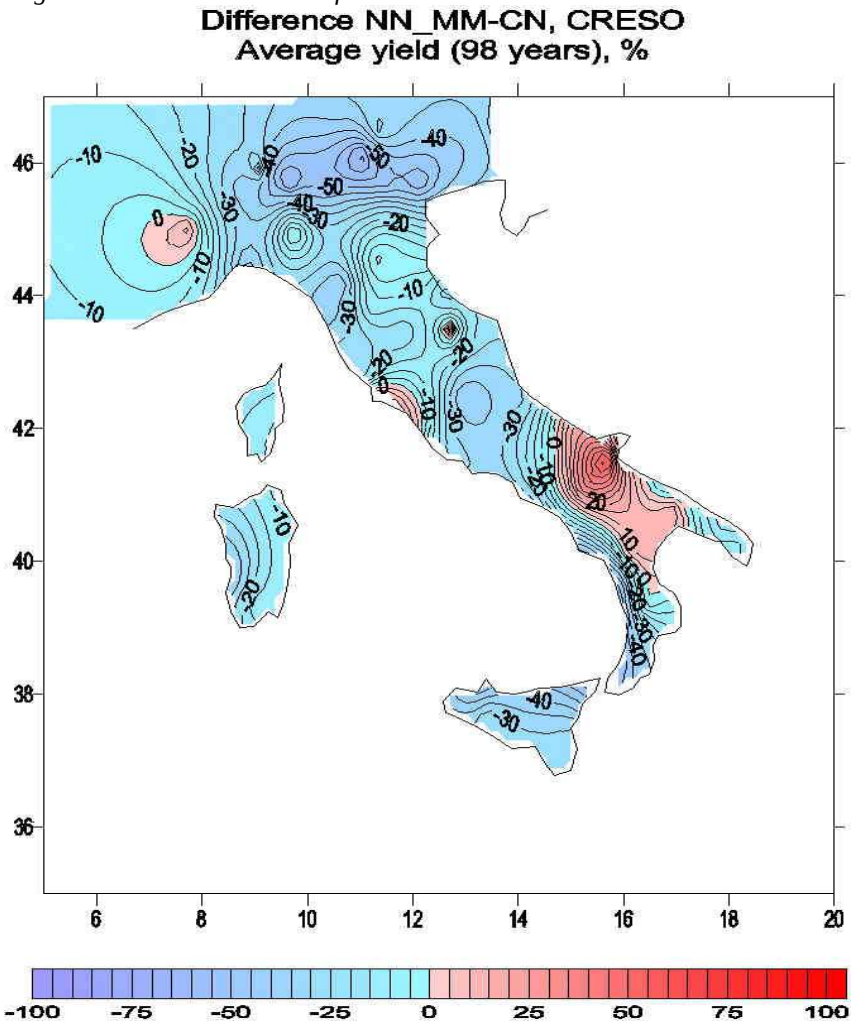


Figura 5 - Scenario NH – Confronto 2CO2vsCNTL

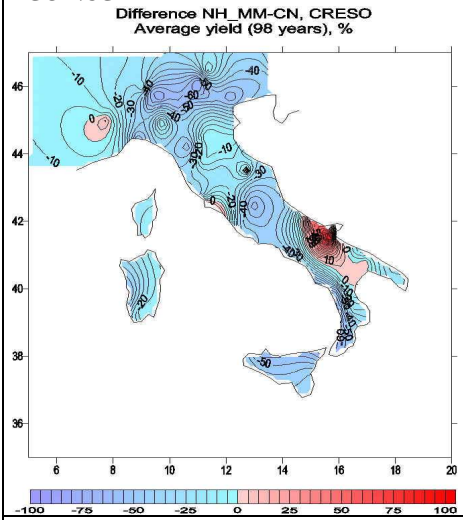


Figura 6 - Scenario ND – Confronto 2CO2vsCNTL

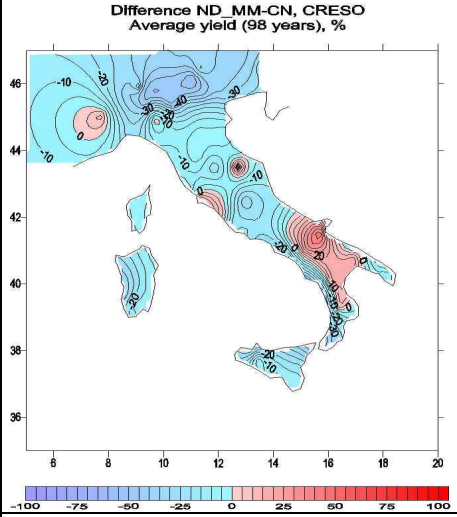


Figura 7 - Scenario HN – Confronto 2CO2vsCNTL

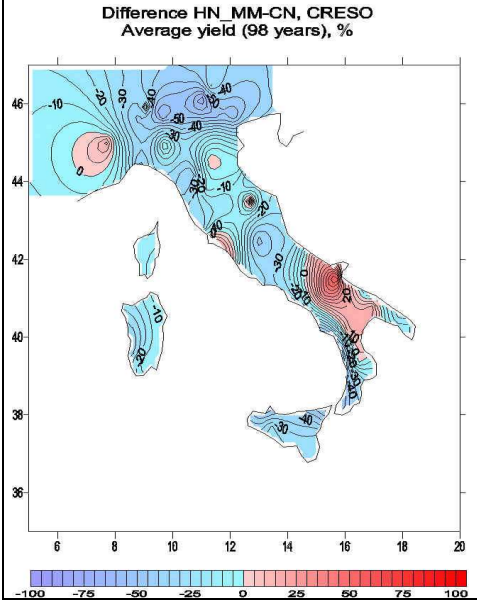
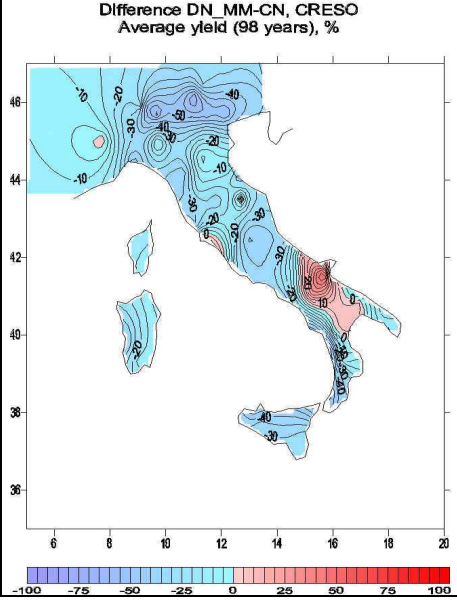


Figura 8 - Scenario DN – Confronto 2CO2vsCNTL



ALCUNE CONSIDERAZIONI DI TIPO AGROCLIMATICO SU SERIE STORICHE DELLA SICILIA ORIENTALE

L. Mariani, M. Maugeri
Università degli Studi di Milano
anamar@tin.it

Riassunto
Nel presente lavoro viene applicato alla serie storica di Catania (1951-87) un modello di simulazione dinamica della produttività di un prato polifita al fine di stimare la produttività primaria netta (NPP). I risultati ottenuti mostrano una considerevole variabilità interannuale che è tipica degli ambienti mediterranei caratterizzati da notevoli risorse radiative, sensibile peso delle limitazioni idriche e scarso peso delle limitazioni termiche. I risultati ottenuti per Catania vengono confrontati con i risultati ottenuti operando sulal serie storica di Milano – Brera.

Abstract
A dynamic simulation model is here applied to detect the Net Primary productivity of a meadow.
The results show a strong interannual variability that is typical of the Mediterranean environments, characterised by strong sunlight resources, strong water limitations and little thermal limitations.
The results obtained for Catania time series are compared with results obtained for the Milano Brera time serie, representative of the more continental climate of the Po valley (North Italy).

Introduzione

Questo convegno dà l'occasione di applicare ad una serie storica siciliana una metodologia di indagine agroclimatica messa a punto e sperimentata per la prima volta nel 2001 sulla serie storica di Milano Brera (1763-1998) ove aveva dato risultati a nostro giudizio interessanti, tanto che ne abbiamo ricavato una pubblicazione attualmente sottoposta a referee presso la rivista Climatic Change. La serie storica giornaliera prescelta è stata quella di Catania del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica (1951-1987).
In particolare l'approccio impiegato focalizza l'attenzione sulla Net Primary Productivity (*NPP*) stimata in assenza d'irrigazione. Per NPP di una comunità vegetale si intende la quantità di carbonio accumulata nelll'unità di tempo per unità di superficie (Cox & Atkins, 1979) ed è un fondamentale indicatore ecologico per tutti gli ecosistemi, un indicatore che ha in questi anni assunto anche una valenza più ampia in quanto viene considerato nei calcoli relativi a sorgenti e pozzi di CO_2.

Nella vegetazione naturale e nelle colture NPP è influenzato dalle differenti variabili meteorologiche, che agiscono come variabili guida per gli ecosistemi. Ad esempio in alcuni casi si è dimostrato che oltre l'80% della variabilità interannuale della produttività degli ecosistemi agricoli è determinata dalla variabilità delle condizioni meteorologiche, ed in particolare tale fenomeno è avvertibile nei sistemi privi di irrigazione (Hoogenboom, 2000).
In particolare la NPP è fortemente influenzata dalla radiazione solare, dalla temperatura dell'aria e dalla precipitazione. La radiazione solare infatti fornisce l'energia per il processo di fotosintesi, la temperatura dell'aria è la principale variabile atmosferica che agisce sul tasso di sviluppo mentre la precipitazione, con gli altri termini del bilancio idrico (evapotraspirazione, ruscellamento, ecc.) determina la disponibilità di acqua a livello delle radici ed in tal modo influenza gran parte dei processi di crescita delle piante. I gradienti latitudinali delle variabili meteorologiche nel nostro emisfero mostrano con chiarezza che la radiazione e la temperatura sono i fattori più critici alle alte latitudini mentre le precipitazioni lo sono alle basse latitudini (Larcher, 1983; Cox & Atkins, 1979).

La metodologia applicata

Esistono fondamentalmente due strade per giungere a stimare la NPP di un ecosistema:
1. stima della differenza fra fotosintesi e respirazione in base alle sole variabili meteorologiche;
2. stima della produttività fondata su dati da remote sensing (soprattutto immagini da satellite).
Il nostro lavoro si è svolto utilizzando il primo approccio ed è consistito nel modellizzare la NPP di una prateria di piante C3 (graminacee e leguminose) passando attraverso:

- La stima dell'assimilazione potenziale netta PNA a partire dalla radiazione solare e tenendo conto delle perdite respiratorie;
- L'applicazione a PNA delle limitazoni idriche e termiche in modo da giungere a stimare NPP.

Il modello realizzato opera con passo giornaliero (un loop orario è previsto unicamente in sede di valutazione degli effetti di contrazione della produttività legati alle temperature).
In primo luogo si procede alla stima dell'assimilazione potenziale netta (PNA) e cioè del carbonio assimilato in presenza di condizioni idriche e termiche ottimali per la fotosintesi
Primo step per giungere a PNA è dato dal calcolo dell'assimilazione potenziale lorda di CO_2 - GASS (g m^{-2} day^{-1} di carboidrati). Per tale stima si è considerata una canopy di C3 con angolo fogliare sferico ed un tasso di

assimilazione massima di 4 g m^{-2} ora^{-1} di carboidrati (Goundriaan & Van Laar, 1978; van Heemst, 1986) impiegando la formula (van Keulen & Wolf, 1986):

$GASS = (f_0 * F_{ov} + (1-f_0) * F_{cl}) * 0.68 * fh$

Ove:

- F_{cl} e F_{ov} per la latitudine in esame sono stati ottenuti attraverso le tavole presentate in Goundriaan & Van Laar (1978);
- f_0 è la frazione di giorno in cui il cielo è coperto (1=cielo del tutto coperto; 0=cielo del tutto sereno). Tale valore è stato ottenuto con un semplice modello a regressione basato su Tgr e Tgrmax, ove Tgr è la radiazione totale giornaliera ($MJ/m^{-2}*day^{-1}$) stimata con il modello di Donatelli & Campbell (1998) e Tgrmax è il valore massimo astronomico della radiazione stessa ($MJ/m^{-2}*day^{-1}$) in funzione del periodo dell'anno;
- 0.68 (= 30/44) è il fattore di conversione da CO_2 a carboidrati (CH_2O);
- *fh* esprime la frazione di radiazione solare intercettata dalla canopy ed è il risultato dell'equazione $fh=1-exp(-ke * LAI)$ ove si è adottato un valore di 0.65 per il Ke (coefficiente di estinzione della canopy) e si sono impiegati i valori di *LAI* (Leaf Area Index) riportati in tabella 1.

Tabella 1 – valori di LAI adottati per la simulazione e riferiti al primo giorno di ogni mese.

gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
5.5	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2	2	2.5	4	5

Una volta ottenuto *GASS*, *PNA* è stato calcolato con la seguente formula:

$PNA = (GASS - MRES) * EC * 0.4$

Ove:

- *MRES* (g m^{-2} day^{-1}) sono le perdite per respirazione di mantenimento espresse con l'equazione $MRES = TDW * rm$ ove *rm* è la respirazione di mantenimento (i valori adottati sono ricavati per interpolazione lineare sui valori in tabella 2) e *TDW* (peso secco totale) è ottenuto adottando un peso standard di 200 g * unità di $LAI^{-1}*m^{-2}$;
- *EC* (g/g) è un coefficiente che esprime l'efficienza di conversione dei carboidrati in strutture dei vegetali (si è adottato un valore costante di 0.65);
- 0.4 (= 12/30) è il coefficiente di conversione da carboidrati (CH_2O) a carbonio (C).

Infine *NPP (*espresso come massa di C per m^2) viene ricavato per mezzo della formula seguente:

*NPP = 0.65 * 0.4 * GASS * (1 – MRES/GASS) * WLF * TLF*

ove *WLF* e *TLF* sono, rispettivamente, i fattori limitanti dell'assimilazione netta giornaliera legati all'acqua e la temperatura.
In particolare WLF è stato ricavato in base all'approccio proposto da van Laar et al. (1992) e si basa su una valutazione della disponibilità idrica a livello radicale svolta per mezzo di un bilancio idrico semplificato che adotta le seguenti assunzioni:

- uno stato di suolo di 50 cm esplorati dalle radici;
- un suolo franco e di buona struttura con capacità idrica massima di 220 mm/m, capacità di campo di 130 mm/m e punto di appassimento di 32 mm/m.

L'equazione del bilancio idrico è:
$wc_d = wc_{d-1} + ru - inf – et$

ove:

- wc_d and wc_{d-1} (mm) sono i contenuti idrici ai giorni *d* e *d-1*;
- *ru* (mm) è la pioggia utile espressa dall'equazione *ru = (pioggia_totale - ec) * (1- rc)*, ove il coefficiente *ec* (valore costante di 2 mm) è l'acqua piovana evaporata dalle superfici prima di pervenire al suolo ed il coefficiente di runoff è stato posto pari a 0.15 per tutto l'anno;
- *inf* (mm) è l'infiltrazione che elimina gradualmente l'acqua eccedente la capacità di campo;
- *et* (mm) è evapotraspirazione giornaliera ricavata con l'equazione di Penman-Monteith, applicata considerando una velocità del vento costante di 3 m/s, l'approccio di Benincasa et al. (1991) per la stima dell'umidità relativa e l'approccio di Donatelli & Campbell (1998) per la stima della radiazione solare globale.

TLF è stato invece ottenuto considerando un tasso di accumulo di biomassa nullo per temperature inferiori a 7 °C e superiori a 35 °C e definendo un range termico ottimale fra 20 e 28°C. Per condizioni sub-ottimali il fattore TLF è stato ottenuto per interpolazione lineare. La ciclicità termica giornaliera è stata considerata stimando dapprima il fattore limitante per ogni singola ora e poi mediando sulle 24 ore (Denison & Loomis, 1987).

Risultati ottenuti

1. La serie di NPP

La figura 1 e la tabella 2a riassumono i risultati del modello in termini di NPP annua per la stazione di Catania. Si noti la spiccata variabilità interannuale, con produttività oscillante fra 29 $g_{*}m^{-2}$ (1970) e 233.5 $g_{*}m^{-2}$ (1982), con una media di 120.9 $g_{*}m^{-2}$.

Tabella 2a – NPP di Catania espresse in $g_{*}m^{-2}$ (periodo 1951 – 1987)

	Anno	Semestre estivo (1 aprile- 30 settembre)	Semestre invernale (1 ottobre – 31 marzo)
Media	120.9	27.6	93.3
Minima	29 **(1970)**	0 **(1961-1962)**	27.0 **(1970)**
Massima	233.5 **(1982)**	135.6 **(1951)**	174.5 **(1982)**

Tabella 2b – NPP di Milano espresse in $g_{*}m^{-2}$ (periodo 1951 – 1987)

	Anno	Semestre estivo (1 aprile- 30 settembre)	Semestre invernale (1 ottobre – 31 marzo)
Media	371.1	320.3	50.7
Minima	255.4 **(1955)**	211.7 (1974)	18.5 **(1970)**
Massima	499.7 **(1959)**	433.9 **(1951)**	84.5 **(1982)**

A titolo di raffronto in tabella 2b si riporta la produttività primaria di Milano relativa al medesimo periodo. Si osservi che la media (370.8 $g_{*}m^{-2}$) risulta circa tripla rispetto a quella di Catania e che a Catania predomina la produttività del semestre invernale (ottobre-marzo) mentre a Milano prevale quella estiva (aprile – settembre).

L'andamento medio giornaliero della NPP è invece mostrato in figura 2, in cui si presentano la media giornaliera e la media + 1 deviazione standard. Nello stesso grafico si riporta anche la NPP media giornaliera di Milano.

2. Le variabili guida della produttività primaria

Passiamo ora in rassegna alcune fra le indicazioni che il modello ci fornisce in merito alle variabili che determinano la NPP. Anzitutto ci soffermiamo sul contenuto idrico del suolo come fattore cruciale per la produttività.

A tale riguardo la figura 3 riassume in un diagramma sinottico l'andamento del contenuto idrico del terreno a livello giornaliero simulato per l'intero periodo considerato (13514 giorni). In particolare si evidenziano in modo qualitativo le fasi di deficit che caratterizzano il periodo dalla tarda primavera al primo autunno.

Per cogliere in termini quantitativi il fenomeno si riportano le figure 4, 5, 6, 7, 8. In particolare la figura 4 mostra l'andamento giornaliero del deficit idrico, inteso come cumulo dei valori negativi della differenza fra contenuto idrico del terreno e punto di appassimento. Si noti come in media il deficit complessivo annuo raggiunga valori di circa 900 mm. La figura 5 mostra

Figura 1 – Andamento temporale della produttività primaria netta NPP annua ($g*m^{-2}*anno$)

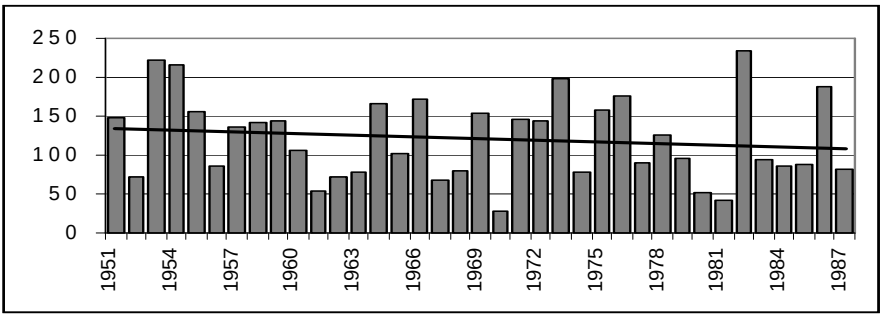


Figura 2 – produttività primaria netta giornaliera NPP espressa in g di C m^{-2} $giorno^{-1}$ (periodo 1951-87). La linea spessa più bassa rappresenta la media giornaliera, quella più alta la massima giornaliera; la linea nera sottile è stata inserita a scopo di confronto e rappresenta la NPP di Milano per lo stesso periodo.

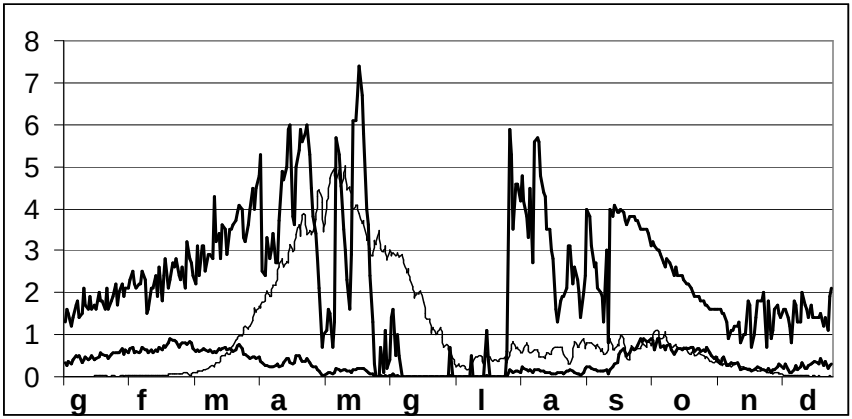
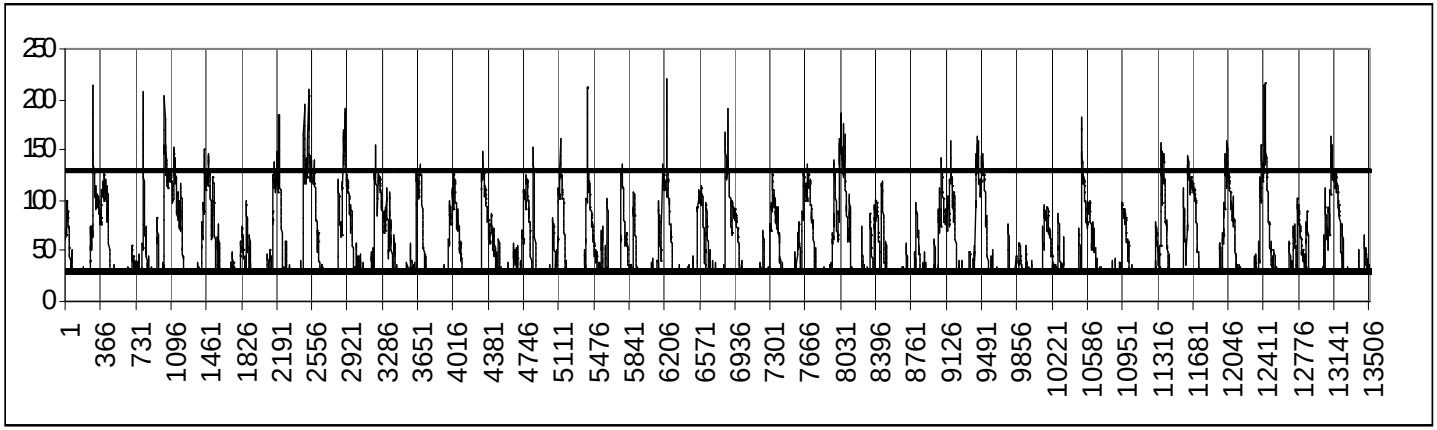


Figura 3 – andamento del bilancio idrico giornaliero per il periodo 1951-1987 (la linea orizzontale più bassa rappresenta il punto di appassimento - pa; quella più alta la capacità di campo - cc). Si osservi come il periodo invernale appaia quello con maggiori disponibilità idriche nel suolo.



invece la serie temporale dei deficit idrici annui mentre le figure 6, 7, 8 rappresentano rispettivamente il primo giorno in cui si registra il completo svuotamento della riserva, il numero di giorni annui con riserva vuota e il primo giorno dopo l'estate in cui si assiste al completo riempimento della riserva stessa.
Se il bilancio idrico costituisce un fondamentale fattore limitante per la produzione dei vegetali in ambito mediterraneo, una variabile guida fondamentale è senza dubbio costituita dalla radiazione solare, il cui andamento giornaliero è illustrato in figura 9.
La figura 10 infine illustra l'andamento giornaliero del termine PNA (assimilazione potenziale netta) e della stessa al netto della sola limitazione idrica (PNAWL) e della sola limitazione termica (PNATL). Tale grafico è particolarmente significativo in quanto consente di cogliere il peso che le limitazioni dovute alla carenza idrica ed all'eccesso o difetto termico hanno sulla produzione. In termini quantitativi si evidenzia che la PNA media annua è di 4413 g di C m^{-2} mentre PNATL è di 1244 g e PNAWL è infine di 262 g. Si rammenta che è proprio applicando in contemporanea a PNA le due limitazioni (idrica e termica) che giungiamo a ricavare la produttività primaria netta NPP. Alcune considerazioni possono essere infine fatte in merito alle tendenze che si evidenziano nelle serie considerate. Anche se non è stata svolta una analisi statistica specifica alla ricerca di trend, a livello visivo sembra di individuare una diminuzione della produttività primaria dell'ecosistema a fronte di un accentuarsi del deficit idrico.

Conclusioni

L'analisi agroclimatica della serie storica di Catania ha consentito di evidenziare in termini quantitativi le potenzialità ed i limiti in termini agricoli e silvo-pastorali di un areale a clima mediterraneo ed in particolare ha posto in luce:

- la rilevanza delle risorse radiative
- il peso contenuto delle limitazioni termiche
- il sensibile peso delle limitazioni idriche.

L'indagine svolta presenta carattere preliminare e pertanto è suscettibile di approfondimento nel modo seguente:

- estendendo l'arco temporale di indagine a serie storiche secolari
- estendendo il numero delle stazioni considerate
- svolgendo analisi statistiche appropriate per evidenziare i trend in atto
- introducendo nell'indagine serie accessorie (es: serie storiche giornaliere di velocità del vento) che sono di notevole importanza per stimare in modo realistico i valori di evapotraspirazione effettiva.

Figura 4 – andamento del deficit idrico giornaliero (mm). La curva più bassa rappresenta il deficit medio, la più alta il valore medio + una deviazione standard.

Figura 5 – andamento del deficit idrico (mm). (def_ct)

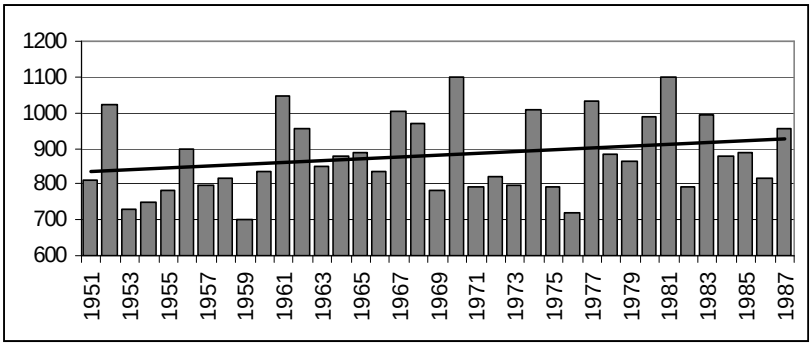


Figura 6 - primo giorno dell'anno con riserva vuota. Si noti che in tre casi (1953, 1967, 1975 e 1978) la riserva sia risultata vuota a inizio anno.

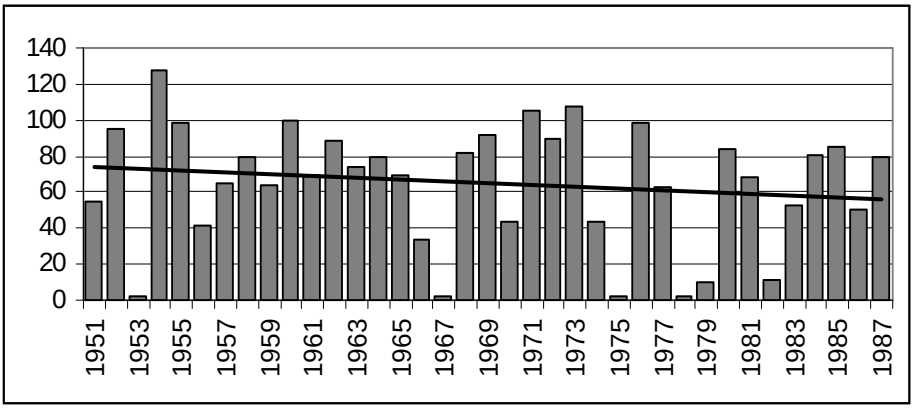


Figura 7 – numero di giorni annui in cui la riserva è risultata vuota (riserva_ct)

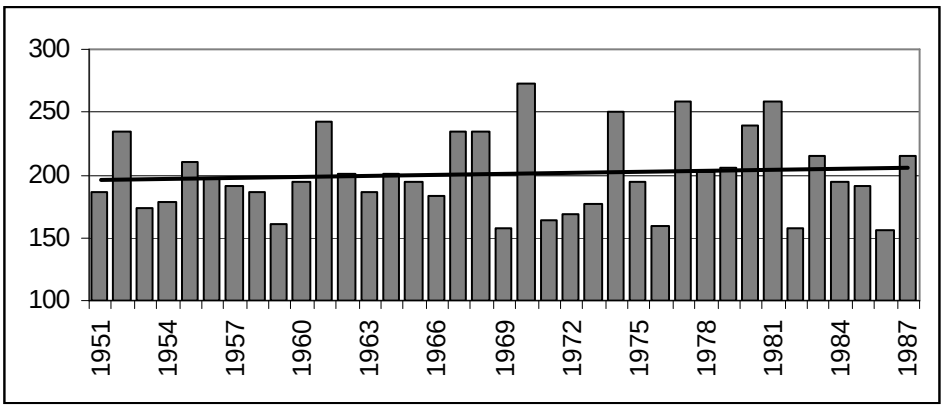


Figura 8 - primo giorno successivo all'estate in cui la riserva viene ripristinata. Si osservi che l'anno con ripristino più precoce è stato il 1969 (riserva ripristinata il 24 settembre) e che in ben 19 casi (1952, 1955, 1956, 1960, 1961, 1963, 1964, 1967, 1968, 1970, 1971, 1973, 1974, 1977, 1978, 1980, 1981, 1985, 1987) la riserva non sia stata completamente ripristinata entro la fine dell'anno (dd_ricar).

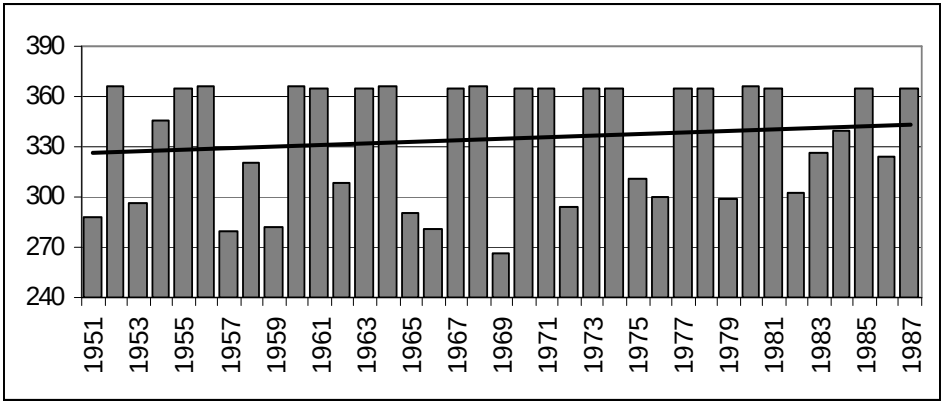


Figura 9 – Radiazione globale giornaliera (MJ m^{-2}) stimata con l'algoritmo di Campbell e Donatelli. La curva più bassa rappresenta il valore giornaliero medio, la più alta il valore medio + una deviazione standard.

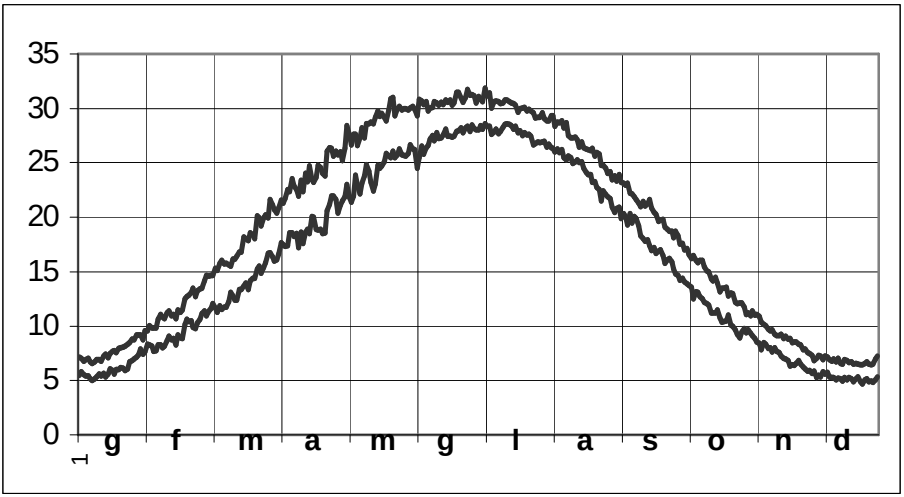
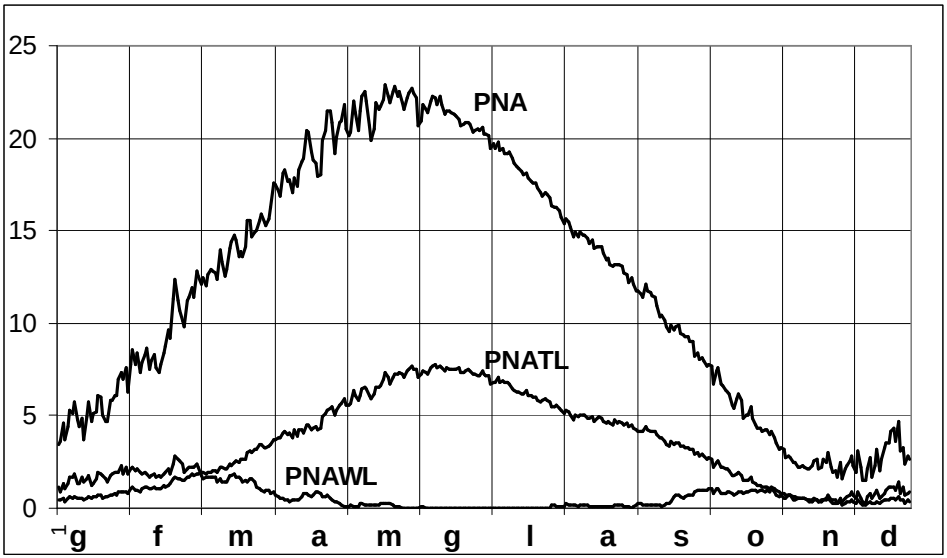


Figura 10 – Assimilazione potenziale al lordo delle limitazioni idriche e termiche (PNA), al netto della sola limitazione termica (PNATL) e della sola limitazione idrica (PNAWL).



ARIDITÀ DEI SUOLI E RISCHI PER L'ATTIVITÀ VEGETATIVA DELLE COLTURE ERBACEE E DELLA FLORA PABULARE DEI PASCOLI NEL BACINO DEL FIUME SALSO (SICILIA CENTRO-MERIDIONALE)

S. Raimondi, A. Indorante, D. Tusa[1]
Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia (ACEP). Viale delle scienze, 90128 Palermo
sraimond@unipa.it

Riassunto
Gli AA hanno elaborato i dati di temperatura e precipitazione riferiti al periodo 1950-2000, in tre stazioni rappresentative di altrettanti ambienti siciliani: la pianura (Licata), la collina (Caltanissetta), la montagna (Petralia). Hanno classificato il pedoclima. Dallo studio emergono l'aumento della temperatura, la diminuzione della piovosità, la migliore distribuzione a Petralia; l'aridità crescente del clima; l'aumento dei giorni asciutti dei suoli, con eccezione della montagna. Riportano inoltre la valutazione dell'adattabilità pedologica alle piante erbacee. Concludono proponendo una metodologia per valutare la siccità e la desertificazione, in atto in pianura ed in collina. In montagna è stato osservato un miglioramento nell'adattabilità per le piante.

Abstract
The AA processed thermopluviometric data, in the period 1950-2000, for three stations representative of Sicilian environments: the plain (Licata), the hills (Caltanissetta), the mountain (Petralia). They classified the pedoclimate. They observed an increase of temperature, a decrease in precipitations, a better distribution in the mountain, the increasing aridity of climate, an increase in dry days in soils, except for the mountain. They evaluated the soil suitability for herbaceous plants. They conclude suggesting a methodology to assess drought and desertification in act in plain and hills. In mountain, they observed an improvement in the suitability for the plants.

[1] Il primo ha ideato il lavoro, il secondo ed il terzo hanno curato la raccolta dei dati termopluviometrici, la loro elaborazione e la rappresentazione grafica; mentre il lavoro è stato scritto in comune.

Premessa

Nelle aree semiaride e caldo-aride del Mediterraneo ed in Italia specialmente nelle aree centro meridionali, durante gli ultimi decenni si è registrata la tendenza alla diminuzione delle precipitazioni (Perini, 2000) e all'aumento delle temperature, specialmente nei valori minimi. Molti studi a livello mondiale dimostrano che tale andamento è la conseguenza del forte impatto delle attività umane sull'equilibrio della circolazione atmosferica e della variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre. In Sicilia, nella fascia costiera meridionale (Licata, Scoglitti, Marsala), gli agricoltori lamentano danni e spesso sono costretti a lasciare il terreno incolto (Raimondi et al., 2000). In questi ambienti, l'attuale tendenza è alla diminuzione della capacità ad ospitare piante, agrarie e spontanee, e quindi anche animali, domestici e selvatici. Fra le concause si annoverano stress ambientali come aridità stagionale, ripetuti episodi di siccità, precipitazioni brevi ed intense, erosione dei suoli, irrigazione con acque salmastre, insostenibile pressione delle attività umane sull'ambiente.

Gli squilibri legati a scarsa disponibilità di acqua nel suolo hanno un forte impatto sulla vita di vegetali ed animali che possono soccombere. Tale processo, in ogni parte del mondo, è sintetizzato nella parola desertificazione. In una stessa regione il processo si manifesta con forme più o meno intense in relazione alle condizioni pedologiche, vegetazionali e morfologiche. L'intensità della manifestazione dipende dagli equilibri che si raggiungono fra le diverse fasi del ciclo dell'acqua. Generalmente su suoli molto profondi, con una copertura boscata adulta ed esposti a nord il processo di desertificazione è rallentato, mentre su suoli sottili (spesso tali in quanto erosi), a seminativo o destinati a pascolo non controllato ed esposti a sud, il processo è esaltato.

A parità di piovosità, negli ambienti aridi e semiaridi, i suoli con un'elevata capacità in acqua utile ed esposti a nord hanno un periodo asciutto più breve, mentre i suoli con bassa capacità in acqua utile ed esposti a sud entrano rapidamente in una fase di secchezza e il periodo asciutto è più lungo. Parallelamente anche il processo pedogenetico dominante, strettamente legato al pedoclima (regime di temperatura e di umidità del suolo) subisce delle variazioni. In Sicilia da oltre 10 anni si effettuano osservazioni sul pedoclima ed alcuni dati sono stati elaborati (Costantini et al., 1999) mentre altri sono in corso di elaborazione. Obiettivo di questo lavoro è quello di confrontare i caratteri climatici e pedoclimatici di tre stazioni siciliane rappresentative della pianura costiera, della collina e della montagna per mettere in evidenza le variazioni sul pedoclima e sull'adattabilità di tali ambienti per le piante erbacee.

Materiali e metodi

Le stazioni termopluviometriche del Servizio Idrografico della Regione Sicilia considerate per il periodo d'osservazione settembre 1950 - agosto 2000 sono: Licata (142 m s.l.m.), Caltanissetta (570 m s.l.m.) e Petralia Sottana (930 m s.l.m.). Per evidenziare la variazione del clima e del pedoclima lungo tale periodo, i dati di temperatura e di piovosità sono stati graficizzati prima singolarmente e poi attraverso la loro interazione, elaborando tutti gli elementi del bilancio idrico del suolo secondo il modello di Thornthwaite e Mather (1957). Per valutare l'adattabilità dei diversi ambienti per le colture erbacee e per la flora pabulare dei pascoli l'elaborazione del bilancio idrico è stata effettuata secondo i concetti dell'annata agraria con inizio a settembre e conclusione ad agosto dell'anno successivo.

Per definire il regime idrico, importante per classificare i suoli secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999), è stato adottato il modello di Billaux (Billaux, 1978) perchè negli ambienti dell'Italia meridionale, rispetto a quello di Newhall (Newhall, 1972) fornisce i risultati migliori (Raimondi, 1993), mentre tali dati sono quasi uguali rispetto a quelli derivati dall'applicazione del modello EPIC (Costantini et al., 1999). La capacità di ritenzione idrica del suolo considerata nei bilanci è di 25, 50, 100, 200 e 300 mm. Tutti i parametri sono stati graficizzati (figure 1-14) in funzione del tempo e quindi è stata inserita una curva per rappresentare l'andamento del fenomeno. Si è preferito una curva polinomiale di secondo grado perché è legata meglio ai punti rispetto ad una retta e quindi in questo caso si ha la possibilità di caratterizzare meglio la zona, per mettere in evidenza le differenze fra le stazioni attraverso un semplice confronto grafico.

Tutte le variabili del clima e del pedoclima annuali sono state elaborate considerando la media del periodo e la media ottenuta secondo i principi del calcolo probabilistico (Raimondi et al., 1997), considerando i diversi decenni del periodo di osservazione (tabella I), per ottenere un dato che si deve ripetere per almeno 6 anni su 10 (cioè deve avere la probabilità del 60%). L'adattabilità per le colture erbacee e per la flora pabulare dei pascoli è stata valutata utilizzando la classazione proposta da Raimondi et. al. (1997).

Risultati e discussione

La figura 1 riporta la temperatura media annua dell'aria (°C). Da essa si evince che in tutte e tre le stazioni la tendenza nel tempo è crescente, e che a Caltanissetta l'incremento è stato più forte, tanto che la stazione tende ad assumere caratteristiche simili a quella di Licata.

La figura 2 mostra i dati della piovosità totale annua (mm). La diminuzione

appare leggerissima a Licata, leggera a Caltanissetta e più marcata a Petralia Sottana.
Per quanto riguarda i tipi climatici (figura 3) la variabilità è piuttosto limitata a Licata, mentre a Caltanissetta l'indice di umidità globale tende a diminuire e questa tendenza è più marcata a Petralia Sottana. A Licata il tipo climatico semiarido (D) è rimasto costante, mentre a Caltanissetta si è verificato un salto di classe dal subumido-subarido (C1) dei primi anni cinquanta al semiarido degli anni novanta. A Petralia Sottana contemporaneamente si è registrato il passaggio dall'umido-subumido (C2) al subumido-subarido (C1). In base all'efficienza termica (evapotraspirazione potenziale - figura 4) la tendenza è stata crescente (in armonia con le temperature) con un incremento maggiore a Caltanissetta. Le classi presenti sono: terzo mesotermico a Licata e Caltanissetta, secondo mesotermico a Petralia Sottana.
La figura 5 rappresenta la temperatura media del suolo. La stazione di Licata ha fatto registrare un andamento crescente e si inserisce nel regime di temperatura termico marittimo ($19 \leq T\ °C < 22$); la stazione di Caltanissetta ha un andamento crescente con un'intensità maggiore rispetto alla precedente (regime termico continentale: $15 \leq T\ °C < 19$) mentre a Petralia Sottana l'incremento è stato leggero e costante nel tempo (regime termico mesico: $8 \leq T < 15°C$). Nelle figure 6, 7, 8, 9 e 10 vengono riportati i dati sui giorni asciutti del suolo in relazione alla capacità di ritenzione in acqua disponibile (A.W.C.) secondo l'ordine crescente: 25, 50, 100, 200 e 300 mm. Nel primo caso (figura 6) i dati registrati mostrano a Licata la tendenza ad una leggera diminuzione nella prima parte del periodo e una crescita continua nella seconda parte, con una media annua di 276 giorni asciutti (regime idrico intermedio xerico torrico); a Caltanissetta e Petralia Sottana invece nella prima parte del periodo si ha la tendenza a salire, mentre nella seconda parte le linee tendono a diminuire, con un'intensità superiore a Petralia Sottana (regime idrico intermedio xerico torrico).
Nella figura 7 (A.W.C. = 50 mm) la tendenza è simile al grafico precedente con un livello di giorni asciutti inferiore: regime idrico intermedio xerico torrico a Licata e Caltanissetta, xerico a Petralia Sottana. La tendenza si ripete nella figura 8 (A.W.C. = 100 mm), in tutte le stazioni prevale il regime idrico xerico. Anche nella figura 9 (A.W.C. = 200 mm) la tendenza si mantiene e lo xerico è presente in tutte le stazioni. Nella figura 10 (A.W.C. = 300 mm) l'andamento è simile e nella parte centrale del periodo, e a Caltanissetta si sono registrate le stesse condizioni di Licata. Il regime è sempre xerico. Nella figura 11 si riportano i valori dell'evapotraspirazione reale. Le curve hanno un andamento che si armonizza con il numero di giorni asciutti. A Licata dopo un lungo periodo di leggera crescita, verso la fine è presente una fase di diminuzione; a Caltanissetta l'andamento è quasi

costante mentre a Petralia Sottana dopo un periodo di diminuzione attualmente c'è la tendenza verso un incremento piuttosto consistente (in armonia con la diminuzione del periodo asciutto). Nella figura 12 si riporta il deficit idrico. A Licata dopo un breve periodo di diminuzione si è registrata la tendenza ad un consistente incremento. A Caltanissetta la crescita è stata molto forte; mentre è stata inferiore a Petralia Sottana ove attualmente si ha la tendenza ad un appiattimento. Nella figura 13 si riporta il surplus.

Figura 1 – Temperatura media annua dell'aria

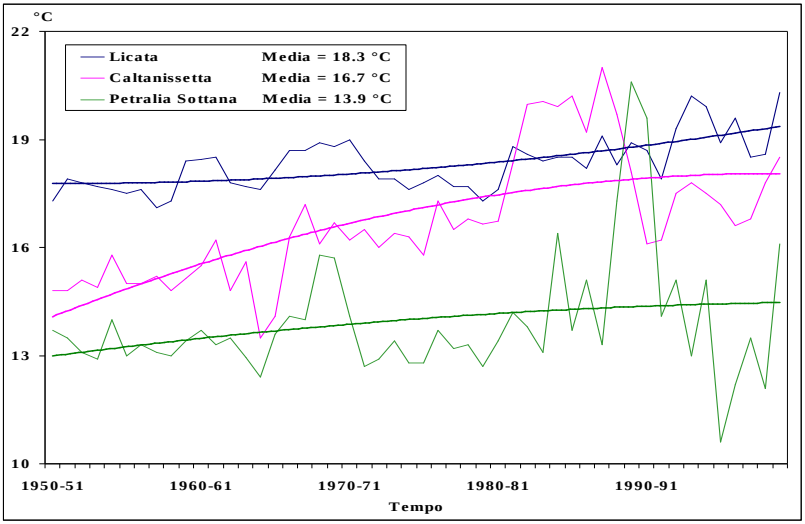


Figura 2 – Precipitazioni annuali

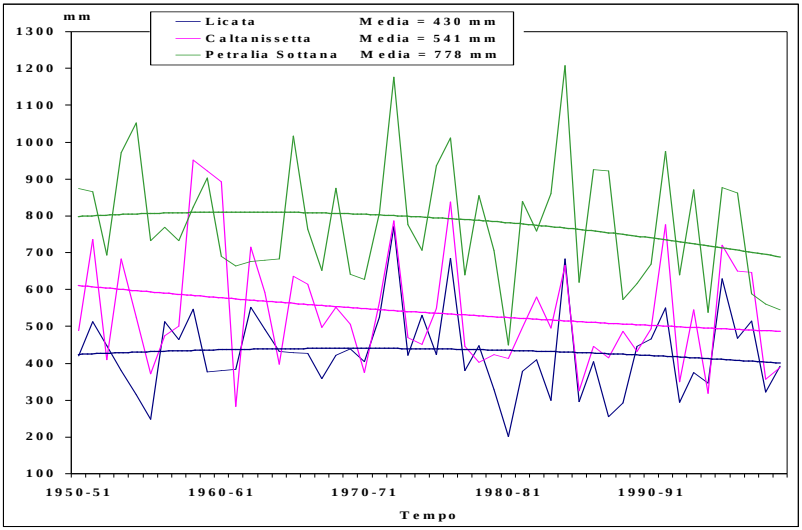


Figura 3 – Indice di umidità globale

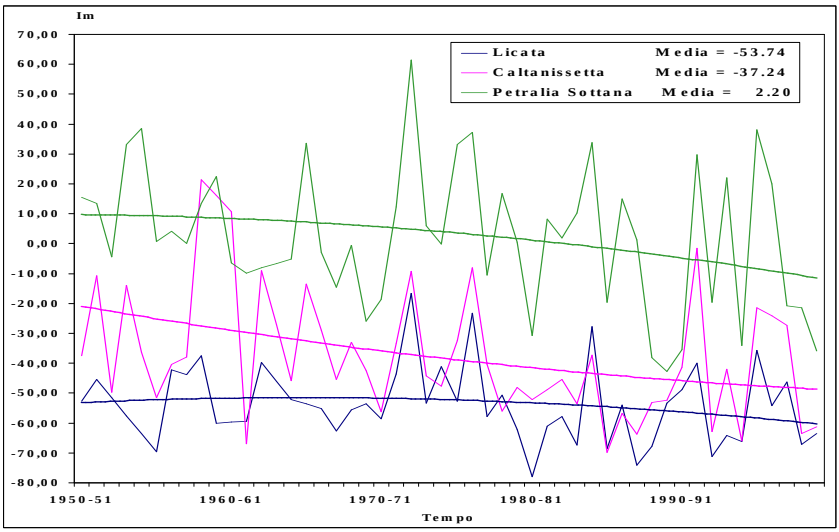


Figura 4 - Evapotraspirazione potenziale

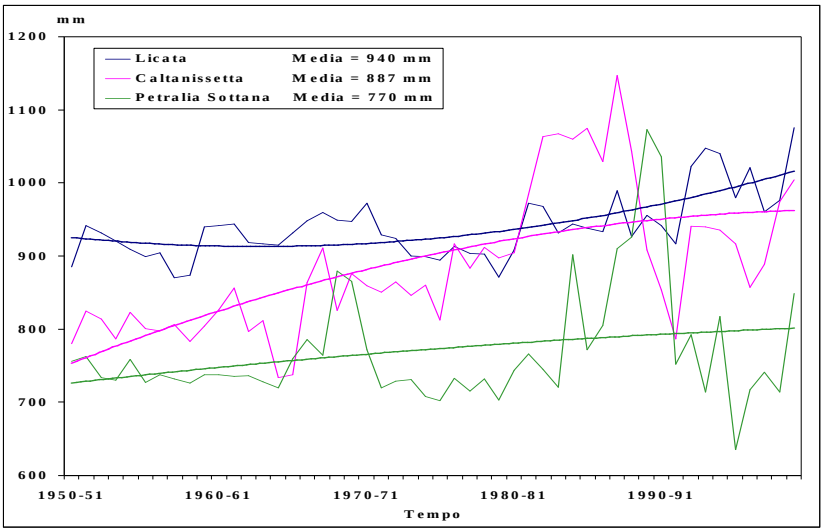


Figura 5 – Temperatura media annua del suolo

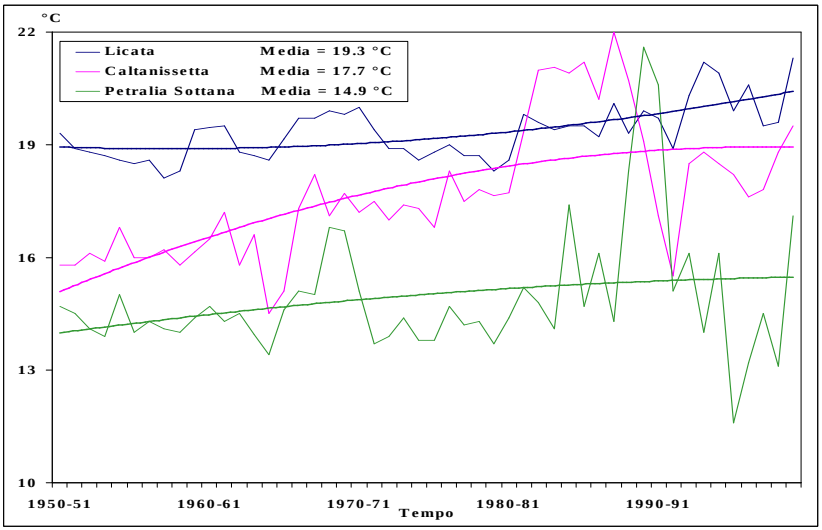


Figura 6 – Giorni asciutti per suoli con capacità di 25 mm di acqua disponibile

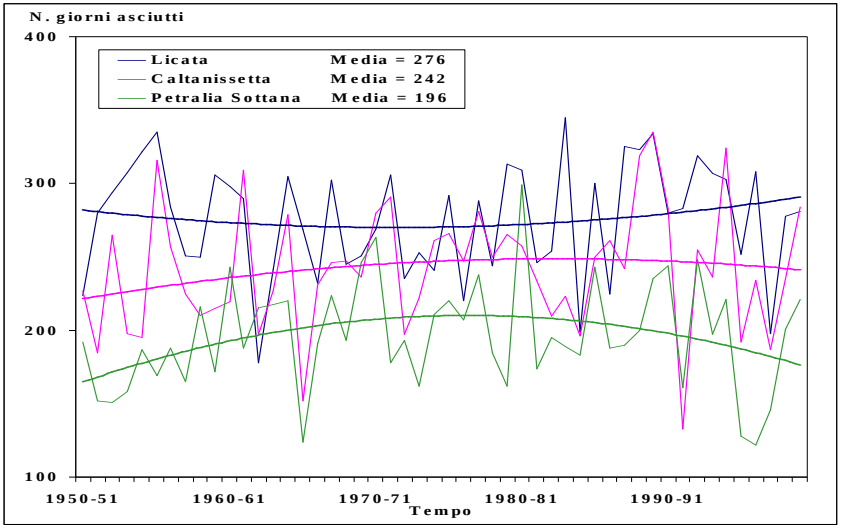


Figura 7 - – Giorni asciutti per suoli con capacità di 50 mm di acqua disponibile.

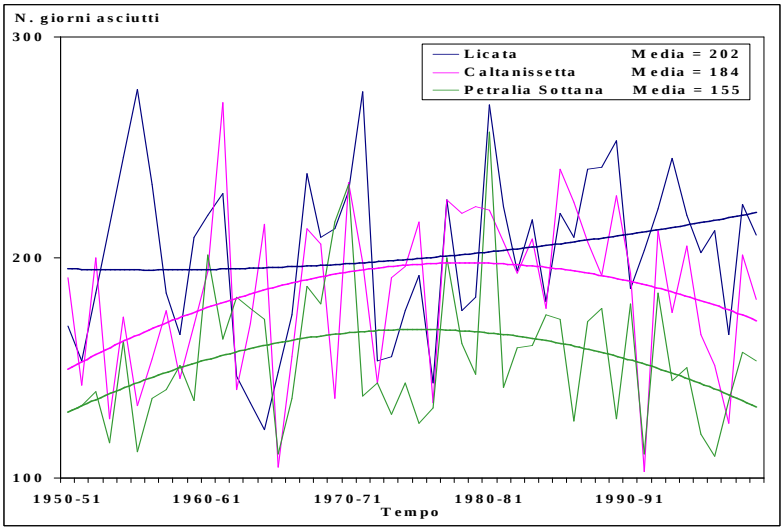


Figura 8 – Giorni asciutti per i suoli con capacità di 100 mm di acqua disponibile

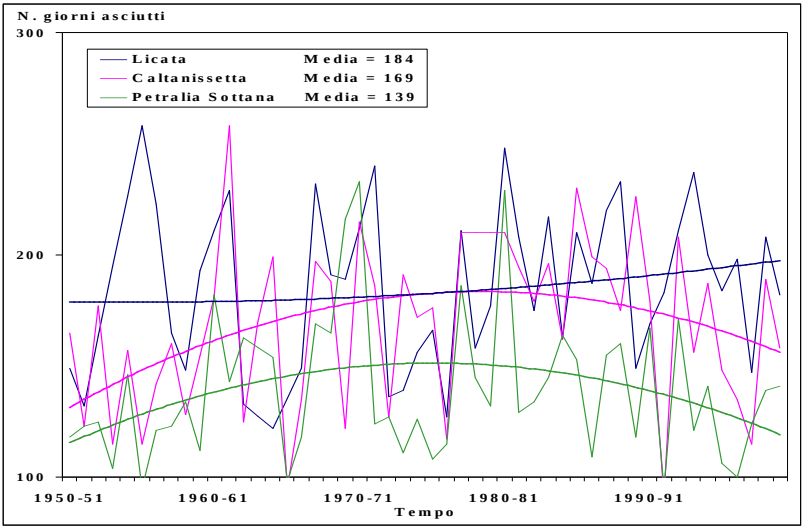


Figura 9 – Giorni asciutti per suoli con capacità di 200 mm di acqua disponibile

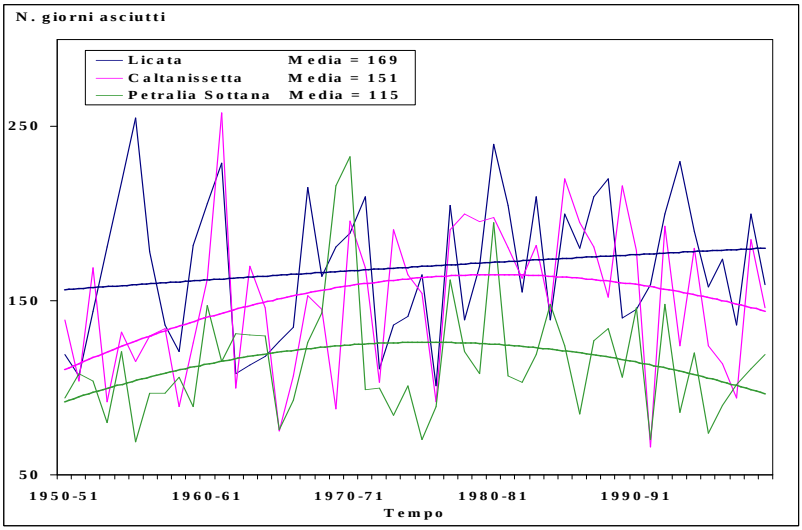


Figura 10 – Giorni asciutti per i suoli con capacità di 300 mm di acqua disponibile

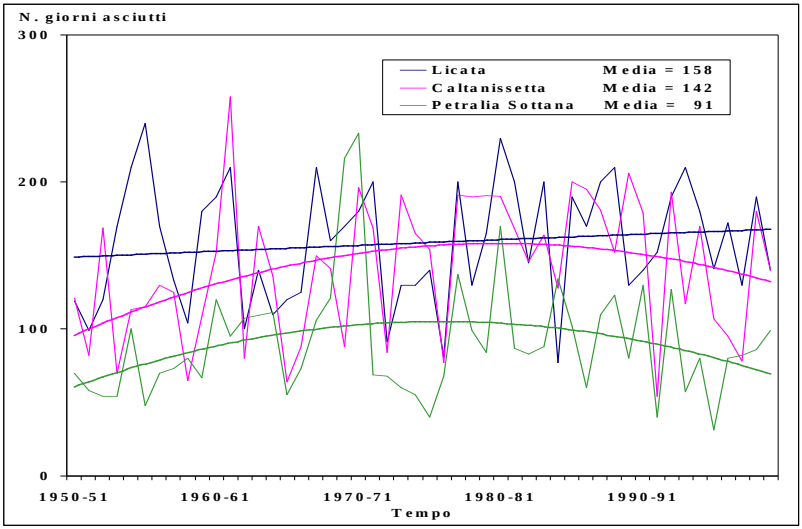


Figura 11 – Evapotraspirazione reale

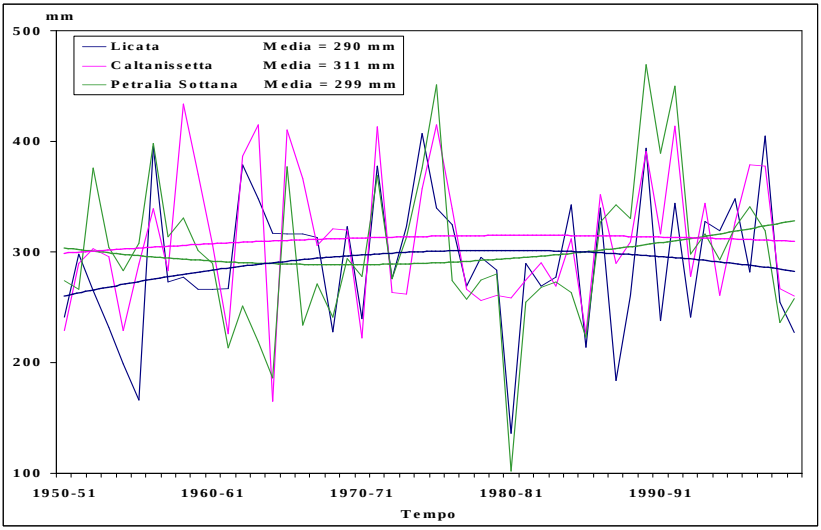


Figura 12 – Deficit idrico

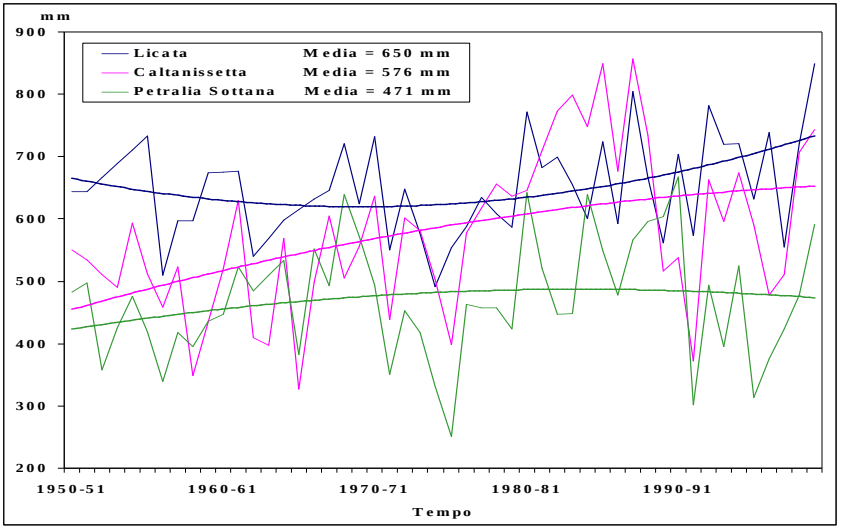


Figura 13 – Surplus idrico

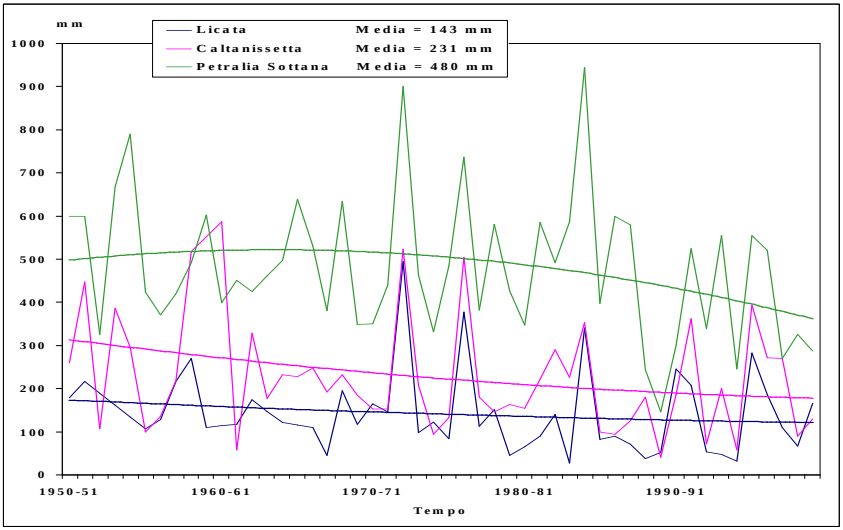


Figura 14 – Numero mesi con surplus

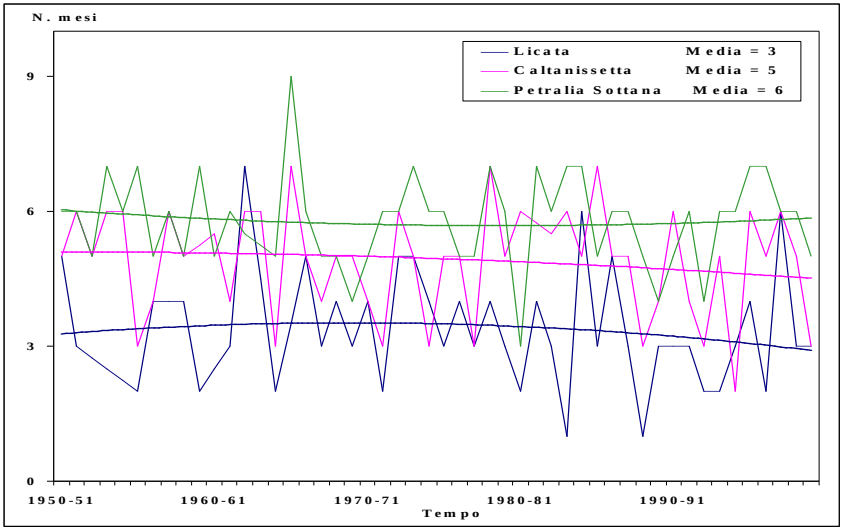


Tabella 1- Bilancio idrico del suolo ricavato elaborando i dati termopluviometrici: T.m.a.a.= temperatura media annua dell'aria; PE= evapotraspirazione potenziale; P= piovosità media annua; AE= evapotraspirazione reale; T.m.a.s.= temperatura media annua del suolo

Decennio	T. m. a. a.	PE	P	AE	Decicit idrico	Surplus idrico	Indice umidità	N. mesi	Numero di giorni asciutti per valori di A.W.C. di:					T. m. a. s.
	°C	mm	mm	mm	mm	mm	globale	Surplus	25	50	100	200	300	°C
Licata														
1950-60	17,6	905	420	265	644	162	-52,54	3	284	184	165	144	133	18,6
1960-70	18,5	942	426	316	624	116	-55,06	3	251	174	149	135	140	19,5
1970-80	17,8	903	424	295	587	122	-52,57	4	253	176	158	141	130	18,8
1980-90	18,5	938	299	269	666	71	-67,27	3	300	220	208	200	190	19,5
1990-00	18,9	980	393	282	720	110	-63,48	3	281	210	184	159	152	19,9
Media 6/10	18,3	934	392	285	648	116	-58,18	3	274	193	173	156	149	19,3
Media periodo	18,3	940	430	290	650	143	-53,74	3	276	202	184	169	158	19,3
Diffe M-(M6/10)	0	7	37	5	2	27	4,45	0	2	9	12	13	9	0
Caltanissetta														
1950-60	15,0	801	500	290	511	259	-37,44	5	215	154	142	126	113	16,0
1960-70	15,6	826	553	320	505	227	-33,05	5	231	170	170	145	136	16,6
1970-80	16,4	860	451	263	581	153	-44,25	5	261	198	186	169	169	17,4
1980-90	19,7	1043	446	290	734	155	-53,12	5	242	207	195	181	168	20,7
1990-00	17,2	917	494	316	590	186	-42,02	5	235	175	156	124	117	18,2
Media 6/10	16,8	889	489	296	584	196	-41,98	5	237	181	170	149	141	17,8
Media periodo	16,7	887	541	311	576	231	-37,24	5	242	184	169	151	142	17,7
Diffe M-(M6/10)	-0,1	-2,5	52,2	14,9	-8,1	35,1	4,7	0	5	3	-1	2	1	-0,1
Petralia														
1950-60	13,1	734	823	304	419	492	13,36	6	169	135	121	97	67	14,1
1960-70	13,6	737	680	241	510	451	-6,64	5	216	177	158	130	108	14,6
1970-80	12,9	720	775	278	423	439	6,02	6	193	143	126	100	68	13,9
1980-90	13,8	772	759	268	549	491	1,32	6	190	160	145	119	88	14,8
1990-00	13,5	741	639	316	423	325	-20,75	6	197	144	124	102	80	14,5
Media 6/10	13,4	741	735	281	465	440	-1,34	6	193	152	135	110	82	14,4
Media periodo	13,9	770	778	299	471	480	2,20	6	196	155	139	115	91	14,9
Diffe M-(M6/10)	0,5	29	43	18	6	40	3,5	0	3	3	5	5	9	0,5

Mentre a Licata si sono registrati valori più bassi e relatvamente costanti nel tempo; a Caltanissetta si è avuta la tendenza alla diminuzione ed i valori che tendono a restare costanti nell'ultimo periodo; a Petralia Sottana infine, dopo una consistente crescita nella prima metà del periodo, la tendenza successivamente registrata è alla diminuzione.
Nella figura 14 si riporta il numero di mesi con surplus. A Licata e Caltanissetta la tendenza è stata verso la diminuzione, mentre a Petralia Sottana la tendenza registrata è verso un incremento. Osservando i dati mensili si rileva che la piovosità è meglio distribuita in quest'ultima stazione e giustifica il minor numero di giorni asciutti e l'incremento dell'evapotraspirazione reale. Quest'ultima è risultata legata anche alle temperature invernali più alte che restringono il periodo con blocco dell'attività vegetativa in montagna. In quest'ultimo ambiente tutto ciò si traduce in un incremento nella adattabilità ad ospitare piante (l'evapotraspirazione reale è maggiore rispetto al passato). Negli altri due ambienti la tendenza è nettamente verso la diminuzione dell'evapotraspirazione reale. Interpretando il valore medio del periodo asciutto del suolo in relazione alle classi proposte per valutare l'adattabilità per le colture erbacee e per la flora pabulare dei pascoli (Raimondi et al., 1997), scaturisce che, nelle stazioni considerate, l'adattabilità dei diversi suoli è vincolata dalla carenza idrica. Specificatamente, a Licata ed a Caltanissetta i suoli con 25 mm di A.W.C., utilizzabili a pascolo, hanno una fortissima limitazione (giorni asciutti >220). Una forte limitazione (giorni asciutti 180-220) si riscontra sui suoli con A.W.C. di 50 e 100 mm a Licata, di 50 mm a Caltanissetta e di 25 mm a Petralia Sottana. La limitazione è media (giorni asciutti 150-180) per i suoli con A.W.C. di 200 e 300 mm a Licata, con 100 e 200 mm a Caltanissetta e con 50 mm a Petralia Sottana. La limitazione risulta leggera (giorni asciutti 90-150) a Caltanissetta con 300 mm e a Petralia con 100, 200 e 300 mm. Il valore del periodo asciutto del suolo ottenuto eseguendo l'elaborazione decennale determina la variazione di classe di adattabilità nei tre casi seguenti: a Licata i suoli con 100 mm di A.W.C. passano da una limitazione forte ad una limitazione media, a Caltanissetta i suoli con 200 mm di A.W.C. passano dalla classe media a quella leggera mentre a Petralia Sottana i suoli con 300 mm di A.W.C. transitano dalla classe leggera a quella con assenza di limitazione (periodo asciutto < 90 giorni). In tutti gli altri casi la variazione del valore numerico non è significativa.

Conclusioni

I grafici elaborati evidenziano le tendenze verso l'incremento delle temperature medie annuali e la diminuzione della piovosità annuale. Il clima di Caltanissetta tende ad avvicinarsi a quello di Licata che rimane con

un'aridità quasi costante. Nella collina interna aumenta l'aridità. Nell'ambiente di montagna (Petralia Sottana) l'incremento della temperatura, la diminuzione della piovosità, insieme ad una migliore distribuzione delle piogge, che si concretizza anche in un numero di mesi con surplus idrico più alto, determina un incremento dell'evapotraspirazione reale e quindi una migliore risposta delle piante erbacee (frumento) e della flora pabulare dei pascoli. E' da notare che i suoli con 25 mm di A.W.C. a Licata sfiorano il regime idrico aridico, mentre gli altri suoli presentano una classificazione in armonia con le precedenti elaborazioni. Per quanto concerne l'effetto esposizione sulla adattabilità dei suoli alle colture erbacee ed alla flora pabulare dei pascoli i coefficienti da utilizzare (in prima approssimazione per correggere il numero di giorni asciutti rispettivamente in pianura, collina e montagna sono: 1.1, 1.2 e 1.3 per l'esposizione sud; 0.9, 0.8 e 0.7 per le esposizioni nord e 1.1, 1.1 e 1.2 per l'esposizone est ed ovest.

Il valore del numero di giorni asciutti del suolo, non corretto o corretto utilizzando i coefficienti precedentemente riportati, consente la valutazione dei periodi di siccità. Infatti, è sufficiente confrontare il periodo asciutto medio di una zona con quello dell'anno da valutare (Raimondi, 2001; Raimondi et al., in corso di stampa).

Tale valore, osservato e valutato nel tempo, consente di valutare il processo di desertificazione in una zona. Il processo è in atto quando la tendenza ad un aumento del valore del numero di giorni asciutti è in crescita (continua od irregolare) ed interessa il periodo dell'anno in cui c'è attività vegetativa delle piante. In tali casi il processo pedogenetico dominante è quello tipico degli ambienti a regime idrico aridico. I coefficienti proposti sono utilizzabili per definire il regime di umidità dei suoli diversamente esposti.

Ringraziamenti

gli AA desiderano esprimere un sentito ringraziamento all'ing. Geraci del Servizio Idrografico Regionale per aver fornito alcuni dati termopluviometrici.

Bibliografia

Billaux P (1978). Estimation du <<regime hidrique>> des sols au moyen des données c1imatiques. La méthode graphique: son utilisation dans 1e cadre de la Taxonomie Americaine des sols. ORSTOM, ser. Pedol. Vol. XVI, n 3, France, pp 317-338.

Costantini E.A.C., Napoli R., Perini L., Cali' A., Castelli I., Raimondi S., Lorenzoni P. (1999). Individuazione dei principali regimi pedoclimatici italiani: risultanze sperimentali e confronto con le regioni climatiche europee. Progetto Finalizzato Panda, sottoprogetto 1, Serie 2, Pubblicazione

33. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo 48 (1), Roma, pp. 87 - 98.
Ministero dell'Ambiente (1999). Comunicazione Nazionale per la lotta alla Siccità ed alla Desertificazione. Tipar Poligrafica editrice.
Newhall F. (1972). Calculation of Soil Moisture Regimes from Climatic Record. Rev. 4 Mimeographed, Soil Conservation Service, USDA, Washington DC.
Perini L. (2000). Piove meno in Italia. L'Informatore Agrario, Verona LVI (45), pp 65-68.
Raimondi S. (1993). Valutazione del pedoclima secondo il modello di simulazione di Newhall in tre stazioni siciliane. Quaderni di Agronomia 13. Istituto di Agronomia generale e Coltivazione erbacee di Palermo, Italia, pp 148-155.
Raimondi S., Poma I., Frenda A. S. (1997). Il pedoclima come fattore di sensibilità ambientale: esempio di metodologia applicata all'agro di Sparacia - Cammarata (AG). Rivista di Agronomia, anno XXXI n. 3 suppl.. Bologna, luglio - settembre 1997.
Raimondi S., Mirabella A., Bazan E., Palazzolo E., Panno M. (2000). Impiego di acqua marina per scopi irrigui. Nota I: Caratterizzazione del suolo considerato nella sperimentazione. Atti del XVIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria. Catania 20-22 settembre, 91-99.
Raimondi S. (2001). L'influenza del clima nelle aree irrigue siciliane. Dipartimento ACEP (Agronomia coltivazioni Erbacee e Pedologia). Progetto POM 1994-1999 (Programma operativo multiregionale). Officine Grafiche Riunite. Palermo, pp. 18.
Raimondi S., Calafiore G., Indorante A., Tusa D. (in corso di stampa). Proposta di un modello ecologico di stima dei danni per la siccità: esempio nell'area "San Cataldo" (Sicilia centrale – CL). Lavoro presentato al convegno annuale della SISS dal titolo "La conservazione della risorsa suolo" Piacenza 8-10 giugno 2002.
Soil Survey Staff (1999). Soil Taxonomy. Second Edition. U.S. D.A. Agriculture Handbook, 436, Washington, pp. 869.
Thornthwaite C. W. e Mather J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Climatology, X,3. Centerton N.Y. USA, pp. 85.

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DI UN APPARECCHIO DOSATORE PER LA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE IN TUNNEL

G. Toller[1] e L. Mattivi[2]
(1) U.O. Agrometeorologia e Clima; Istituto Agrario di San Michele all'Adige (TN)
(2) Cooperativa Sant'Orsola; Pergine Valsugana (TN)
toller@mail.ismaa.it

Riassunto
Viene descritto uno strumento per la gestione dell'irrigazione delle colture di fragola in coltura protetta sotto tunnel fuori terra. L'apparecchio è inserito a valle del controller irriguo e autorizza l'apertura programmata delle elettrovalvole solo se le irrigazioni precedenti non hanno determinato una percolazione superiore ai livelli stabiliti. Lo strumento, prodotto su piccola scala, è governato da un microcontroller ed è collegato ad un misuratore di portata a basculamento.

Abstract
An instrument for irrigation management of strawberry grown aboveground in plastic tunnels is described. The device is connected to the irrigation controller and allows the programmed opening of electrovalves only if percolation from previous irrigation is not higher than fixed levels.
The instrument, produced in a limited number, is governed by a microcontroller and is connected with a horizontally pivoted flow rate meter.

Premessa

Gran parte della produzione di fragole della Provincia Autonoma di Trento proviene da coltivazioni in tunnel fuori terra, che sole garantiscono la costanza di qualità e i livelli produttivi necessari per un'attività redditizia.
La gestione irrigua di tali colture è una operazione di notevole delicatezza per la concorrenza dei seguenti fattori:

- La ridotta massa di terreno a disposizione della pianta, con conseguente limitato potere volano nei confronti delle necessità irrigue
- Le alterazioni nei parametri meteorologici legate alla presenza della copertura
- La pratica della fertirrigazione che richiede particolari accorgimenti per evitare accumulo di sali nei contenitori delle piante.

Usualmente si irriga con impianti d'irrigazione a goccia seguendo alcune semplici direttive:

- evitare che l'acqua nei contenitori si allontani troppo dalla capacità idrica massima;
- garantire una certa quantità di drenaggio per evitare accumulo di sali.

L'applicazione pratica di queste regole si traduce in irrigazioni tendenzialmente sovrabbondanti che possono danneggiare sensibilmente la qualità della frutta, riducendo la produzione lorda vendibile. Risvolti negativi si hanno anche sul lato dei costi, per l'incremento delle spese per pompaggi e per fertilizzanti.

Il dosaggio dell'irrigazione delle colture sotto tunnel segue in genere il metodo "a tempo", che prevede l'apertura delle valvole per periodi di tempo stabiliti in modo che gli ugelli possano erogare la quantità di acqua richiesta. Tale sistema si è dimostrato ampiamente adeguato alle colture protette, dove la sorveglianza da parte dell'agricoltore è assidua.

L'irrigazione automatizzata è normalmente gestita da strumenti elettronici programmabili (in inglese "controller") che permettono di stabilire il momento di apertura e il tempo che ogni valvola rimane aperta. In presenza di disponibilità limitate di acqua viene effettuata una turnazione, aprendo un ridotto numero di valvole per volta in modo da garantire nelle tubazioni la pressione di progetto. Per adattare rapidamente l'irrigazione a giornate particolarmente calde, fredde o nuvolose, i controller permettono di stabilire globalmente per tutte le valvole una percentuale di variazione dell'irrigazione rispetto al tempo impostato (es. impostando 150%, una valvola programmata a 1' rimarrà aperta 1'30", una programmata a 30" rimarrà aperta 45", etc.).

L'agricoltore stabilisce quant'acqua dare e quando darla in base alla propria esperienza (un valore sovente adottato è quello di 3' di irrigazione ogni ora), reimpostando la macchina circa ogni mese e stabilendo un certo numero di irrigazioni giornaliere in dipendenza della stagione.

La regolazione viene fatta in modo da non far soffrire le piante nei giorni di massimo fabbisogno. La quantità d' acqua deve inoltre garantire sempre una adeguata percentuale di drenaggio per evitare la salinizzazione dei substrati di coltura.

E' ovvio che con l'erogazione impostata costantemente sull'evapotraspirazione dei giorni sereni e caldi, nelle giornate o nei pomeriggi di cielo coperto - frequenti nell'area Alpina - le piante risultino sovrairrigate.

Il presente lavoro è stato impostato per rispondere all'esigenza della Cooperativa Sant'Orsola (TN) di migliorare l'irrigazione della fragola adattandola ai reali fabbisogni, nel rispetto di tre fondamentali vincoli:

- evitare l'acquisto di nuovi controller

- essere economicamente sostenibile
- fornire strumenti di facile uso.

Materiali e metodi

Dopo aver vagliato varie possibilità alla ricerca del miglior compromesso tra costi e risultati attesi, si è optato per creare un sistema di dosaggio dell'irrigazione basato sulla misura del percolato, cioè sostanzialmente un lisimetro a drenaggio.
Nella coltivazione di fragola fuori terra (figura1), in ogni tunnel si trovano 4 supporti paralleli (linee) con circa 20 contenitori ciascuno. In ogni contenitore vengono coltivate 2 piante di fragola.
La presenza di una canaletta di raccolta sotto ogni linea permette di conoscere la percolazione di tutte le piante sovrastanti. Effettuando la misura della percolazione di una linea si ha un campione significativo della popolazione di quel tunnel (un quarto della popolazione) che, data la grande omogeneità delle colture protette, può senza gravi errori essere considerato rappresentativo anche dei tunnel circostanti.
Per la misura del percolato, che è molto variabile nella portata, lo strumento ritenuto più adatto è stato un misuratore a bascula simile a quelli usati nei pluviometri, ma dimensionato in modo adeguato.
Il dosaggio dell'irrigazione viene realizzato affiancando al controller esistente un altro semplice strumento in grado di condizionare l'erogazione in funzione della quantità d'acqua percolata dalle colture.
Mancando quasi sempre in campagna l'accesso alla rete a 220V c.a., i più diffusi controller per irrigazione in tunnel sono quelli a basso consumo, alimentati a batteria. Essi lavorano di solito con elettrovalvole dotate di solenoidi bistabili la cui dissipazione di energia è minima, essendo limitata ai brevissimi impulsi di corrente di apertura e chiusura.
Era dunque fondamentale che anche lo strumento aggiuntivo avesse un bassissimo consumo elettrico; si è perciò scelto di realizzarlo con un microcontroller a basso consumo: assorbimento < 2mA a 5V di alimentazione e possibilità di mettere il circuito in situazione di riposo (sleep mode) per risparmiare energia.
Grande attenzione è stata posta infine nella protezione dell'apparecchio contro le sovratensioni, essendo destinato ad essere collegato in aperta campagna a linee di rilevante lunghezza (decine o centinaia di metri).
Il software per il microcontroller è stato scritto in assembler da un professionista, che ha provveduto anche alla realizzazione del progetto hardware e del prototipo.
Per le elaborazioni e per lo sviluppo di software di simulazione, è stato usato il linguaggio R.

Risultati e discussione

Misuratore. Il misuratore a bascula, realizzato in acciaio inossidabile, è stato dimensionato in modo da svuotare la vaschetta di raccolta quando contiene 100 ml di acqua. Durante la fase di svuotamento un magnete solidale con la parte basculante chiude per un istante un contatto "reed", collegato all'elettronica tramite una linea bifilare .

Software. Per il controllo delle erogazioni è stata realizzata una "macchina a stati" basata sui due contatori seguenti, per ciascuno dei quali può essere stabilito un valore massimo si soglia:

1) contatore basculate (rovesciamenti della bascula)
2) contatore inibizioni (interventi irrigui che devono essere impediti).

La macchina a stati ha i seguenti ingressi:

1) impulso di start della valvola (proveniente dal controller)
2) impulso di stop della valvola (proveniente dal controller)
3) impulso di conteggio (proveniente dalla bascula)

Il funzionamento è illustrato accuratamente nella figura 3. Quando il contatore delle basculate raggiunge il massimo, allora si azzera e incrementa di uno quello delle inibizioni. Per evitare disastrosi stress accidentali, il contatore delle inibizioni non può superare un certo valore massimo impostabile (ragionevolmente 2 o 3). Quando il contatore delle inibizioni è >0, l'impulso di start non apre la valvola. L'impulso di stop di un'irrigazione inibita decrementa di uno il contatore delle inibizioni.

Hardware. Il processore usato per la realizzazione della parte elettronica è un modello della famiglia "PIC" prodotto dalla ditta Microchip Tecnology Incorporated. L'apparecchio (figura 4), realizzato su circuito stampato, è dotato di un display a due cifre che permette di visualizzare in sequenza:

1) contatore impulsi contatore
2) soglia numero impulsi
3)contatore periodi di riposo
4)numero massimo periodi di riposo
5)stato del contatto valvola (AP - CH)
6)contatore partenze inibite
7)contatore partenze concesse

Gli ingressi per i segnali provenienti dal contatore dell'acqua e dal controller sono protetti contro le sovratensioni tramite accoppiatori opto-elettronici. Un relais bistabile separa galvanicamente dall'elettronica l'uscita verso il solenoide della valvola di irrigazione. L'alimentazione è

fornita da 4 batterie a stilo da 1.5V. Un contenitore stagno trasparente protegge la circuiteria dalle intemperie.

Simulazioni. Tramite un software appositamente sviluppato è stato simulato il comportamento della macchina a stati con differenti settaggi dei valori di soglia per il contatore delle basculate e per quello delle inibizioni. Le Figg. 5,6,7 riportano i risultati ottenuti irrigando alle ore 7,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18 con 8 litri/linea. I valori di ETo sono stati calcolati in base ai dati meteorologici di S. Michele all'Adige del periodo 26-31/5/2002.

La prima prova è stata fatta con una soglia di basculate molto alta (150), in modo da evitare completamente l'incremento del contatore delle inibizioni e la quantità erogata è quella stabilita dal controller, cioè in totale 528 litri. In queste condizioni il contenuto idrico dei vasi si mantiene sempre molto alto, quasi massimo nelle giornate di scarsa ETo.

La seconda prova è stata fatta riducendo a 15 la soglia delle basculate, con il tetto dei periodi di inibizione uguale a 2. La conseguenza è un certo prosciugamento del substrato di coltura, che però ha un andamento altalenante. L'acqua erogata scende a 320 litri.

Nella terza prova, dove si mantiene a 15 la soglia delle basculate, ma si eleva a 3 il tetto delle inibizioni, si accentua ulteriormente il deficit e si riduce il consumo di acqua a 304 litri.

Il deficit medio dei tre esperimenti di simulazione (-1.2, –2.7 e -3.3 litri), rende sommariamente idea dell'effetto del dosatore, dimostrandone la sostanziale efficacia.

Conclusioni

L'apparecchio descritto, prodotto in un numero limitato di pezzi, è attualmente in corso di collaudo in campo e sembra risolvere in modo adeguato il problema della sovra-irrigazione nelle ore di cielo coperto.

Un miglioramento sostanziale si otterrebbe creando un controller che sia in grado di "leggere" direttamente gli impulsi di un contatore ed abbia la capacità di stimare l'ET. Tuttavia la realizzazione di questa soluzione, pur se tecnicamente non difficile, incontra nella pratica difficoltà di ordine economico legate alle economie di scala. Infatti solo una Ditta che produca un grande numero di pezzi può abbatterne i costi di produzione fino a renderne competitivo il prezzo di mercato.

Bibliografia

Millman J., Grabel A.,1987 Microelectronics McGraw- Hill

http://www.microchip.com/1010/index.htm Data sheet dei microcontroller PIC.

Figura1 – Coltivazione di fragole in tunnel fuori suolo.

Figura2 – Misuratore di portata a bascula.

Figura3 – Diagrammi di temporizzazione della macchina a stati. "Start","Stop" = impulsi di start e stop provenienti dal controller. "Soglia" = numero di rovesciamenti della bascula necessari per incrementare di 1il "contateggio periodi di riposo". "Conteggi" = numero di basculate avvenute. "Stato valvola" = indicazione di apertura o chiusura dell'elettrovalvola.

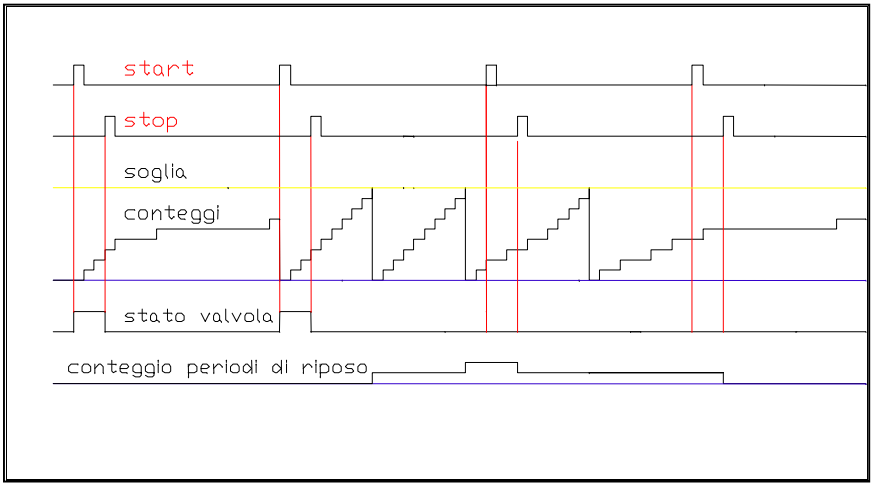


Figura4 - Layout dell'apparecchio dosatore.

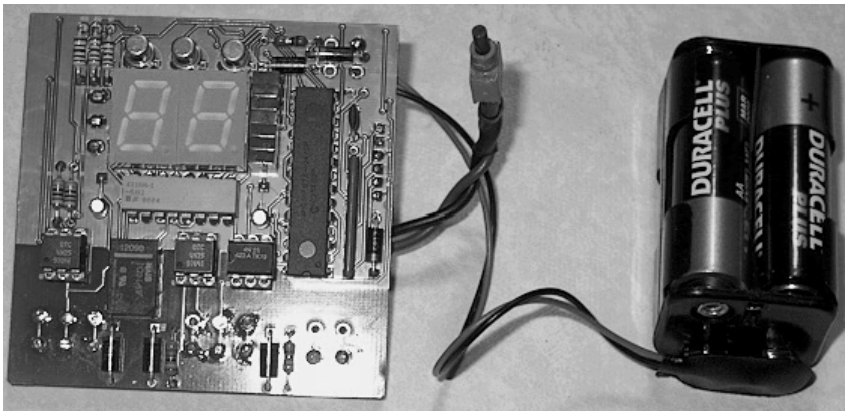


Figura5 – Andamento simulato del deficit [rosso] di una linea, in funzione di evapotraspirazione di riferimento (Eto) [blu], Irrigazione [nero] e Ora del giorno [verde] con max basculate=150 e max inibizioni=2.

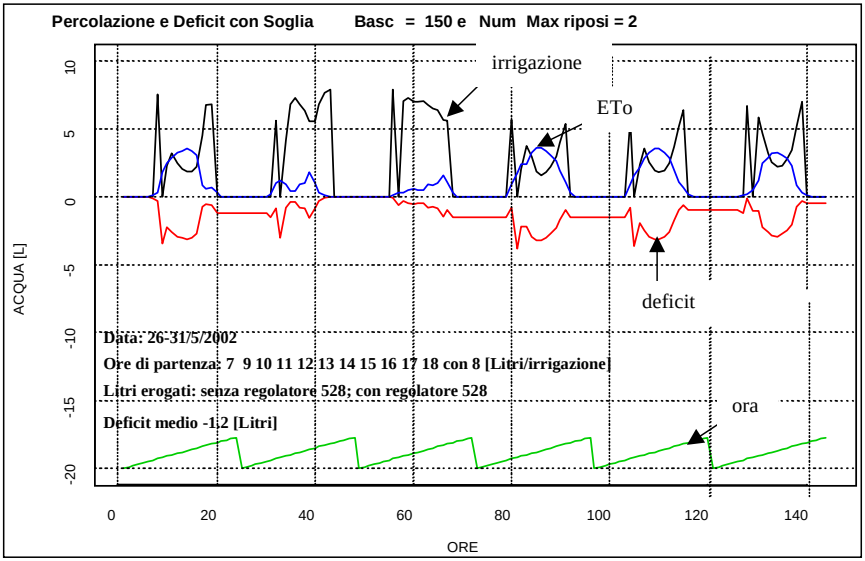

Percolazione e Deficit con Soglia Basc = 150 e Num Max riposi = 2
irrigazione
ETo
deficit
ora
Data: 26-31/5/2002
Ore di partenza: 7 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 con 8 [Litri/irrigazione]
Litri erogati: senza regolatore 528; con regolatore 528
Deficit medio -1.2 [Litri]
ACQUA [L]
ORE

Figura6 – Andamento simulato del deficit di una linea, in funzione di ETo, Irrigazione e Ora del giorno con max basculate=15 e max inibizioni=2.

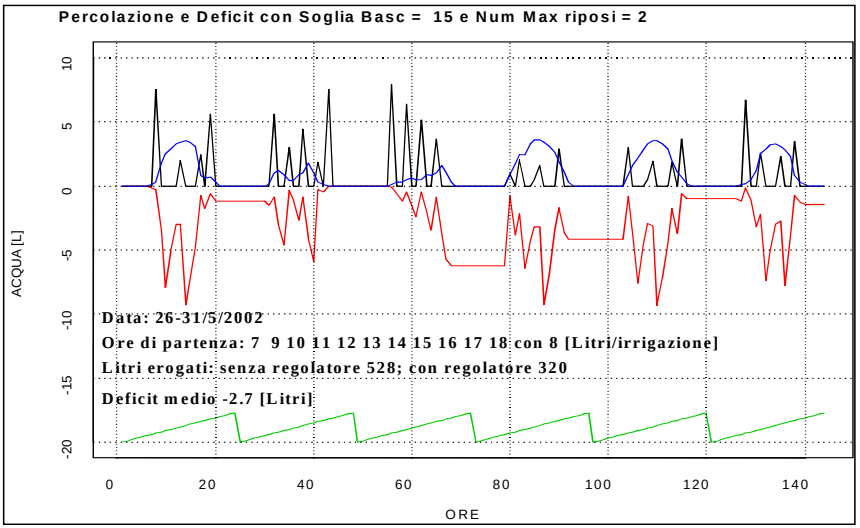
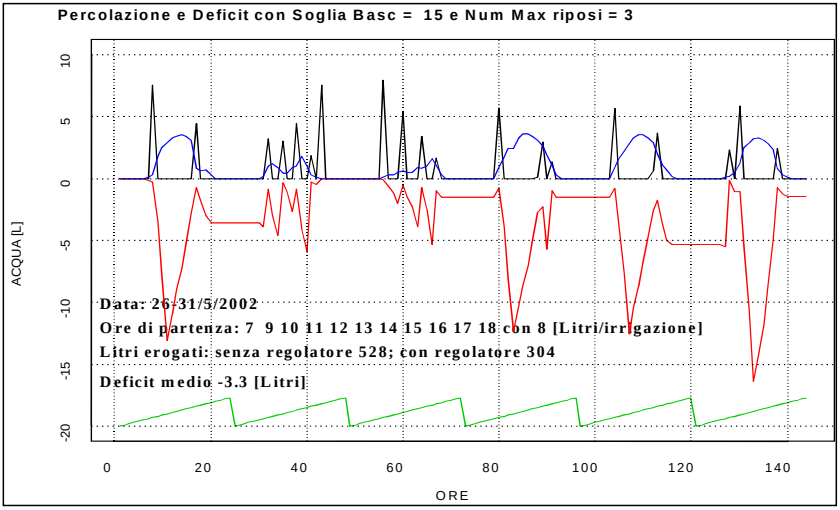

Percolazione e Deficit con Soglia Basc = 15 e Num Max riposi = 2
Data: 26-31/5/2002
Ore di partenza: 7 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 con 8 [Litri/irrigazione]
Litri erogati: senza regolatore 528; con regolatore 320
Deficit medio -2.7 [Litri]
ACQUA [L]
ORE

Figura7 – Andamento simulato del deficit di una linea, in funzione di ETo, Irrigazione e Ora del giorno con max basculate=15 e max inibizioni=3.



VARIABILITÀ CLIMATICA E FABBISOGNI IRRIGUI DELLA VITE DA VINO IN ALCUNI COMPRENSORI VITICOLI DELLA REGIONE ABRUZZO

B. Di Lena[1], F. Antenucci[1], E. Di Paolo[2]
(1) Regione Abruzzo, Arssa Centro Agrometeorologico Regionale, C.da Colle Comune 66020 Scerni (CH) –
bruno.dilena@meteoarssa.abruzzo.it
(2) CO.T.IR. Consorzio per la Sperimentazione e Divulgazione delle Tecniche Irrigue, S.S. 16 Nord, 240 – 66054 Vasto (CH)

Riassunto
Il presente lavoro, dopo aver analizzato la variabilità climatica di due località della provincia di Chieti (Abruzzo) a forte vocazione viticola , definisce i fabbisogni irrigui della cv di uva da vino Montepulciano con l'ausilio di un software di facile utilizzo realizzato su foglio elettronico EXCEL vers. 2000,.

Abstract
In the present work the climatic variability of two vitucultural areas of Chieti province (Abruzzo – Italia) has been analysed and the irrigation requirement of the vine cultivar Montepulciano has been estimated with a friendly water balance model implemented on a spreadsheet Microsoft Excel ver. 2000.

Introduzione

La viticoltura è il comparto produttivo di maggiore importanza economica e sociale dell'agricoltura abruzzese. Essa attualmente occupa circa 33.000 ha, coltivati per la maggior parte a Montepulciano e Trebbiano allevati a tendone.
In Abruzzo l'irrigazione della vite non rappresenta la norma ma l'andamento climatico dell'annata 2001, caratterizzato da una consistente riduzione delle precipitazioni totali del periodo primaverile estivo rispetto alla media del periodo 1961-2001, ha richiamato l'attenzione degli operatori sulla necessità di intervenire, nei casi ove sia possibile, con l'irrigazione.
In particolare si sono registrati in diverse situazioni forti anticipi della maturazione zuccherina accanto a scarse dotazioni di acido malico ed evoluzioni anomale della componente fenolica.
Tutto questo ha voluto dire una vendemmia difficile, dove accanto a partite eccellenti ce ne sono state altre carenti e con problemi enologici di vario genere.

Alla luce di queste considerazioni si è ritenuto opportuno approfondire le conoscenze sui consumi idrici della vite affinché la risorsa idrica venga utilizzata correttamente quale utile strumento di regolazione della produttività e della qualità della vite da vino.
E' noto che i maggiori consumi idrici si verificano durante le fasi di accrescimento dei germogli e degli acini, vale a dire dall'allegagione all'invaiatura, mentre durante la maturazione un moderato stress consente di favorire l'accumulo di sostanze nelle bacche (Fregoni, 1985).
Dopo l'invaiatura l'acqua disponibile non dovrebbe comunque scendere al di sotto del 20- 30% poiché l'apparato fogliare deve mantenere una buona funzionalità per favorire la maturazione delle uve, la differenziazione a fiore e l'accumulo di riserve (Giulivo 2000).
Con il presente lavoro sono stati definiti i fabbisogni irrigui della vite in due comprensori ad alta vocazione viticola della regione Abruzzo mediante l'impiego di una banca dati termo-pluviometrica.
Per la definizione dei fabbisogni idrici della vite è stato realizzato un software su foglio elettronico Excel vers.2000 mediante il quale sono stati definiti in automatico gli interventi irrigui sulla base delle voci attive e passive del bilancio idrico.
Esso è caratterizzato dalla semplicità d'uso ed è formato da due aree :

- area di inserimento dati
- area di calcolo

Nell'area di **inserimento dati** l'utente può:

- *modificare la profondità dell'apparato radicale;*
- *decidere le soglie dell'acqua disponibile entro le quali è necessario mantenere l'umidità del suolo;*
- *decidere le date di inizio e fine del bilancio idrico;*
- *inserire le caratteristiche idrologiche del suolo (capacità di campo e punto di appassimento) qualora si disponga di analisi di laboratorio;*
- *inserire le caratteristiche fisiche del suolo per ottenere, mediante funzioni di pedotransfer, le caratteristiche idrologiche dei suoli(capacità di campo e punto di appassimento), qualora non si disponga di analisi specifiche;*
- *inserire e modificare i coefficienti colturali;*
- *inserire l'umidità iniziale del suolo nello strato interessato dal bilancio idrico; nel caso non si disponga di questa informazione il software considera che il terreno abbia un contenuto idrico iniziale pari alla capacità di campo;*

- *definire il limite critico di umidità al di sotto del quale l'evapotraspirazione effettiva inizia a ad essere inferiore a quella massima;*

Nell'**area di calcolo** l'umidità del suolo, in un determinato giorno e nello strato interessato dalle radici, viene definita sottraendo l'evapotraspirazione effettiva e aggiungendo gli apporti dovuti a irrigazioni effettuate dall'utente, a piogge utili e a irrigazioni definite in automatico dal bilancio.
Qualora non si possa irrigare nelle date indicate dal software è possibile, inserendo un codice, conoscere il maggiore contenuto di acqua da apportare successivamente. In questo caso si attiva eventualmente la funzione che riduce il consumo idrico della pianta in condizioni di stress.

Materiali e metodi

Lo studio delle esigenze irrigue della varietà Montepulciano d'Abruzzo è stato effettuato utilizzando i dati termopluviometrici giornalieri del periodo 1961-2001 rilevati dalle stazioni meteo di Lanciano e Scerni del Servizio Idrografico del Genio Civile.
E' stata considerata una delle tipologie di suolo più frequenti nelle aree vitate oggetto dello studio e precisamente quella franco-limosa-argillosa considerando, ai fini dell'irrigazione, una profondità di riferimento pari a un metro.
Per tale tipologia di suolo sono state stimate le seguenti caratteristiche idrologiche:
Capacita di campo (-0.003 Mpa) pari al 39% in volume
Punto di appassimento (-1.5 Mpa) pari al 23.4% in volume
Inoltre è stata considerata la normale tecnica di coltivazione che prevede la forma di allevamento a tendone e la lavorazione del suolo.
Sulla base delle suddette indicazioni si è proceduto, mediante il software citato in premessa, alla simulazione di un bilancio idrico semplificato su base giornaliera dal 10 Aprile al 10 ottobre di ogni anno secondo la seguente equazione:

$$R_{(i)} = R_{(i-1)} - (Pu_i + I_i - ETe_i)$$

Dove
$R_{(i)}$ = riserva idrica del terreno in un determinato giorno (mm)
$R_{(i-1)}$ = riserva idrica del giorno prima (mm)
Pu_i = Piogge utili del giorno (mm)
I_i = irrigazioni del giorno (mm)
ETe_i = evapotraspirazione effettiva della coltura del giorno (mm)

L'evapotraspirazione effettiva della coltura (ETe) è stata calcolata applicando all'evapotraspirazione massima (ETm) un coefficiente di stress idrico che assume valori inferiori a 1 quando il contenuto di acqua nel suolo scende al di sotto del limite critico di umidità che in questo lavoro è stato fissato pari al 40% in dell'acqua disponibile (AD).
La funzione per il calcolo del coefficiente di stress idrico (FAO 1998) è la seguente:

$$Ks = \frac{TAW - Dr}{TAW - RAW}$$ Dove:

Ks= coefficiente di stress idrico
TAW = acqua disponibile (mm)
Dr= riduzione del contenuto idrico rispetto alla capacità di campo (mm)
RAW= acqua facilmente utilizzabile (mm)

L'ETm è stata calcolata moltiplicando i valori giornalieri dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) per i seguenti coefficienti colturali riportati in tabella (Dorenbos e Kassam – FAO, 1986).

Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre
0.45	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.50

Per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) è stata utilizzata la formula di Hargreaves-Samani: (Hargreaves et al. 1982):

$$Eto = CRa\left(T + 17{,}8\right)\sqrt{\Delta T}$$ dove:

Eto = flusso evapotraspirativo (mm d^{-1})
C = costante empirica pari a 0.0023
Ra= radiazione solare extraterrestre in mm. D'acqua evaporata al giorno
T = temperatura media giornaliera (°C)
T = temperatura media giornaliera (°C)
ΔT = escursione termica giornaliera (°C)

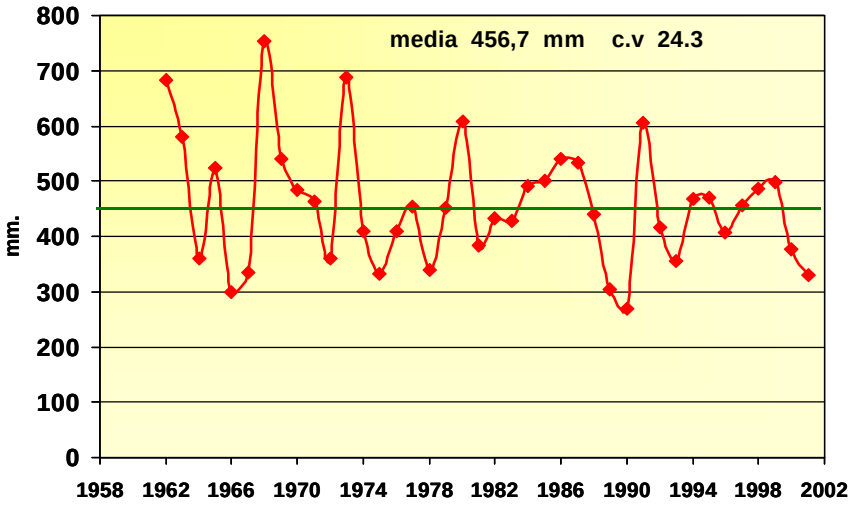
La simulazione della riserva idrica del suolo è stata fatta sulla base di tre ipotesi di gestione dell'irrigazione: nessun intervento irriguo, restituzione del 50% dell'Etm e restituzione del 100% dell'ETm.
Le irrigazioni della tesi 50% Etm sono state indicate nelle stesse date della tesi 100% Etm ma con volume dimezzato.

La soglia di intervento irriguo è stata fissata al 40% in volume dell'acqua disponibile, per cui il software ha segnalato un intervento di entità tale da riportare la riserva idrica al 50% in volume dell'acqua disponibile; ogniqualvolta il contenuto idrico nello strato 0-1 metro raggiungeva la soglia prefissata.
Gli apporti irrigui sono stati indicati fino alla fase d'invaiatura che nelle aree oggetto del presente studio si manifesta intorno al 20 agosto.
Non sono stati considerati gli apporti di falda e non si sono considerate utili le piogge inferiori a 5 mm e la frazione di quelle capaci di portare il bilancio idrico, nello strato considerato dalle radici, oltre la capacità di campo.

Risultati e discussione

Le figure 1 e 2 mostrano gli andamenti delle precipitazioni mensili dei periodi ottobre-marzo e aprile - settembre delle due località indagate.
Le precipitazioni autunno - invernali, che sono responsabili dell'accumulo delle riserve prima della ripresa vegetativa della vite, hanno mostrato in diversi casi, ed in particolare negli ultimi 2 anni, valori inferiori alla media del periodo 1992-2001.

Figura 1 - Stazione di Lanciano (Ch). Andamento delle precipitazioni mensili totali per i periodi ottobre-marzo (1962-2001).



I valori più alti sono stati registrati nei primi dieci anni anche se non appare evidente un trend in diminuzione, per lo meno nel periodo esaminato.
Per quanto concerne le piogge del periodo primaverile - estivo che incidono in modo più diretto sull'evoluzione del contenuto idrico nei suoli durante il ciclo vegetativo e produttivo della vite, la figura 3, relativa alla stazione di Lanciano, mostra che valori inferiori alla media sono più frequenti negli ultimi 20 anni rispetto al periodo precedente.
Nella Stazione di Scerni (Figura 4) i valori inferiori alla media sono uniformemente distribuiti lungo tutto il periodo di osservazione anche se gli scarti sono maggiori nell'ultimo periodo.

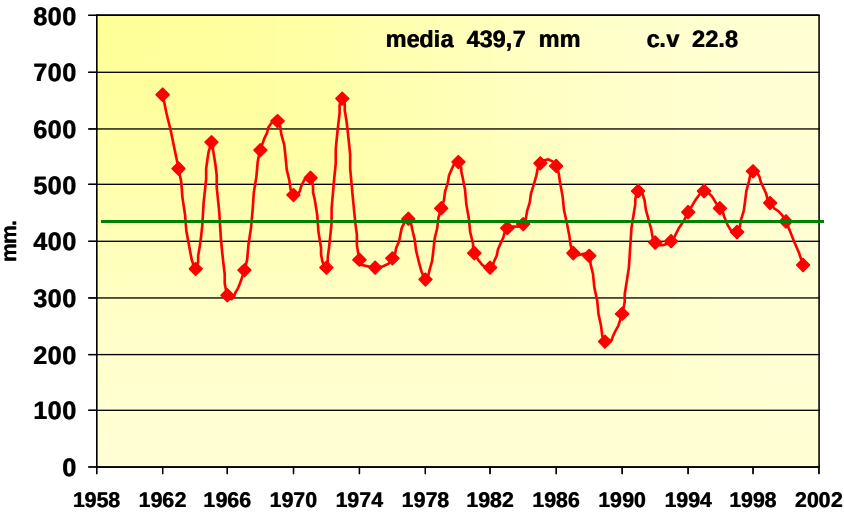


Figura 2 - Stazione di Scerni (Ch). Andamento delle precipitazioni mensili totali per il periodo ottobre-marzo (1962-2001)
L'evoluzione dei volumi irrigui nella Stazione di Lanciano, determinata dal regime termo-pluviometrico dei mesi primaverili estivi, è descritta nella figura 5.
Si evidenzia una notevole variabilità dei valori intorno alla media che si colloca intorno a 116 mm nell'ipotesi di piena restituzione idrica.

Figura 3 - Stazione di Lanciano (Ch). Andamento delle precipitazioni mensili totali per il periodo aprile -settembre (1961-2001)

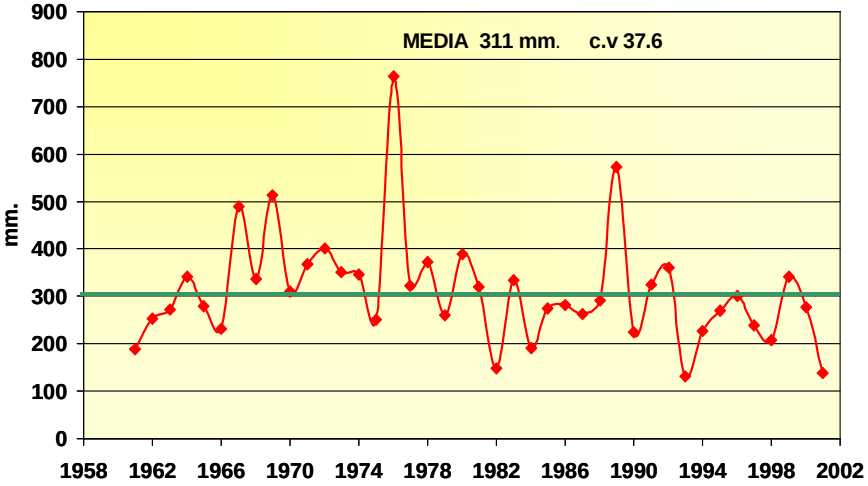


Figura 4 - Stazione di Scerni (Ch). Andamento delle precipitazioni mensili totali per il periodo aprile -settembre (1961-2001)

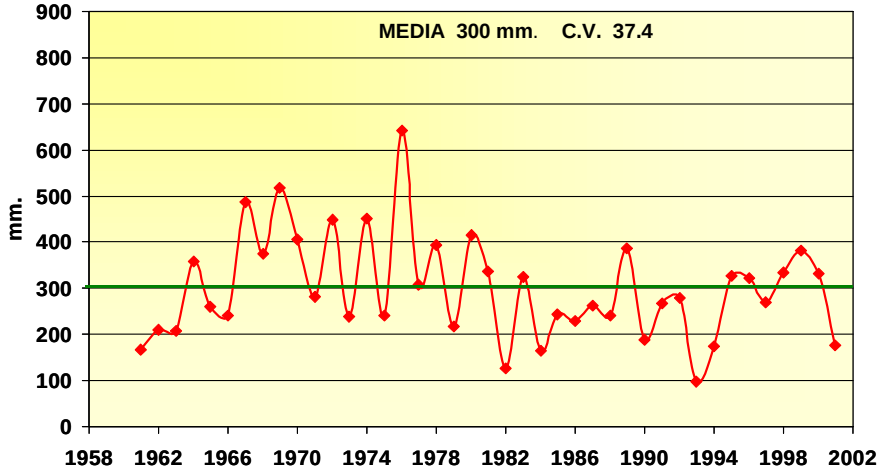
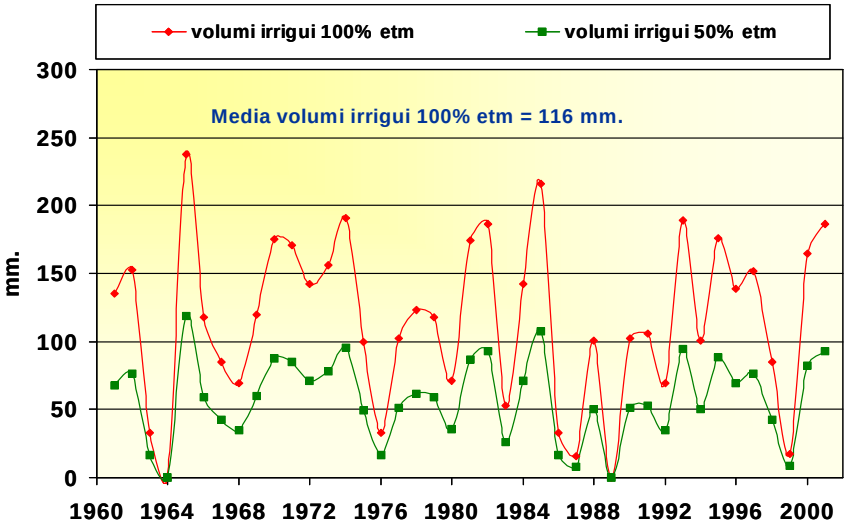


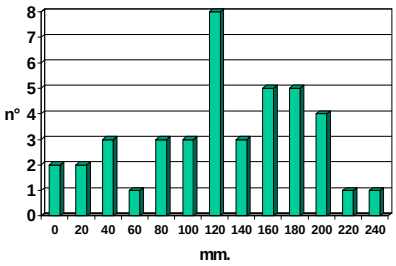
Figura 5 - Stazione di Lanciano (Ch). Andamento dei volumi irrigui nelle due ipotesi di restituzione idrica: 100% e 50% etm oer il periodo 10-aprile – 20 agosto



La figura 6 chiarisce la distribuzione dei volumi irrigui mettendo in evidenza che la classe di maggior frequenza nell'ipotesi di piena restituzione idrica è pari a 120 mm. e che nel 60% dei casi le irrigazioni totali raggiungono al massimo 140 mm.

La figura 7 mostra gli andamenti dell'Etm , dell'Ete nella piena restituzione idrica(100% etm), dell'Ete nell'ipotesi di incompleta restituzione idrica(50% Etm) e dell'Ete relativa alla conduzione in asciutto, considerando la riduzione dei consumi idrici dovuta a condizioni di stress.

Figura 6 - Stazione di Lanciano (Ch) - Istogramma delle frequenze relativo ai volumi irrigui -Restituzione 100% etm

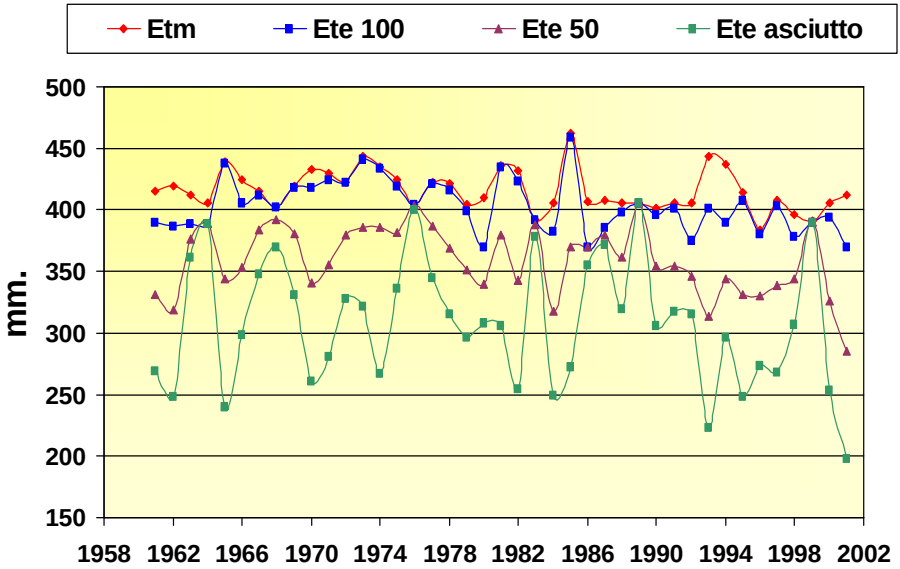


Nelle annate piovose la distanza tra le varie spezzate è minima mentre è massima negli anni siccitosi come lo è stato il 2001.

Le differenze tra la spezzata dell'Etm e quella relativa alla piena restituzione idrica

(100% etm) sono dovute al fatto che si è considerata conclusa la stagione irrigua al 20 d'agosto.

Figura 7 - Stazione di Lanciano (CH). Evoluzione dei valori dell'evapotraspirazione effettiva (Ete) nelle due ipotesi di restituzione irrigua (100% e 50% etm) e in asciutto per il periodo 10 aprile – 10 ottobre, a confronto con i valori di Etm (1961-2001).



Allo scopo di illustrare la dinamica dell'umidità del suolo in rapporto alla piovosità e alle due ipotesi di restituzione idrica si riportano nelle figura 8 e 9 i risultati delle elaborazioni del modello relative al 2001 (anno siccitoso) e al 1992 (anno piovoso) per la stazione di Lanciano.

Nell'anno siccitoso la piena restituzione idrica ha consentito di mantenere anche nel periodo successivo all'invaiatura un livello di umidità nel suolo prossimo al 30% in Volume, soglia che viene indicata quale limite minimo per garantire in questo periodo una efficiente attività vegetativa.

Nell'anno piovoso la distanza tra le spezzate relative alle due ipotesi di restituzione idrica e in asciutto è minima cosi come è minore il numero di interventi irrigui.

Figura 8 - Stazione di Lanciano (Ch) – Anno 2001 Andamento dell'umidità del suolo nelle due ipotesi di restituzione idrica e in asciutto.

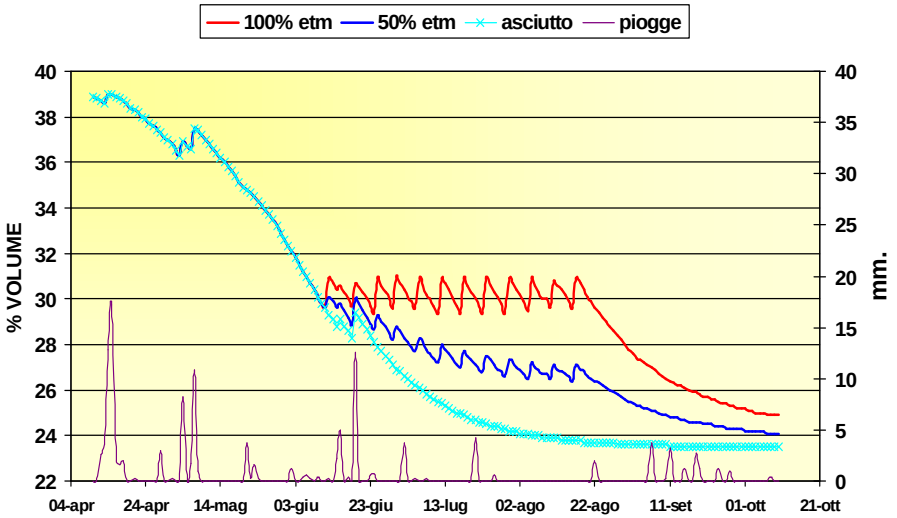
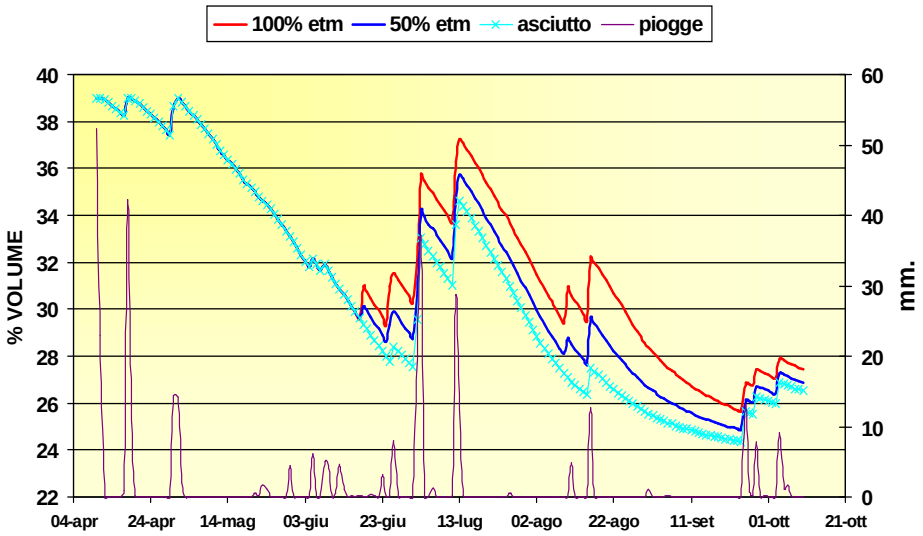
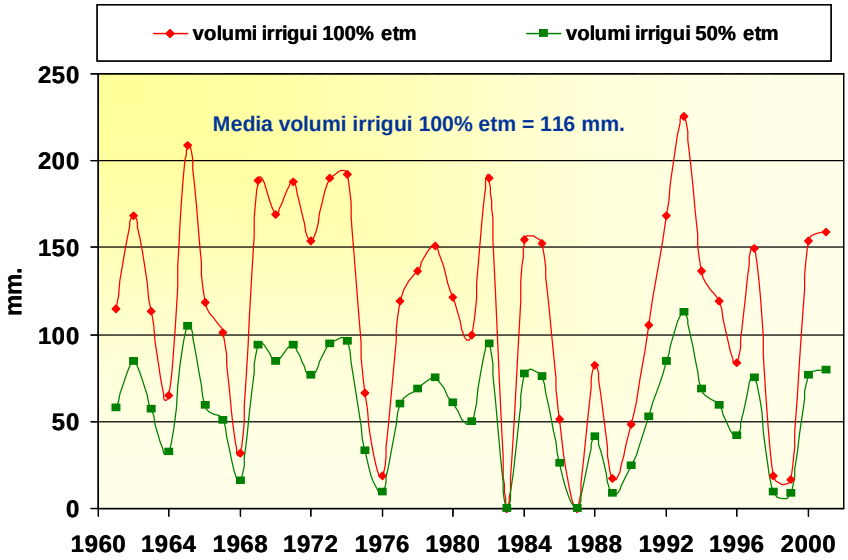


Figura 9 - Stazione di Lanciano (Ch) – Anno 1992 - Andamento dell'umidità del suolo nelle due ipotesi di restituzione idrica e in asciutto.



La figura 10 descrive l'evoluzione dei volumi irrigui della Stazione di Scerni mentre la figura 11 descrive l'istogramma delle frequenze.
Il valor medio, pari a 116 mm, è simile a quello della stazione di Lanciano; le classi di maggior frequenza sono pari a 120 e 160 mm, e nel 75% dei casi le irrigazioni totali raggiungono al massimo 160 mm.

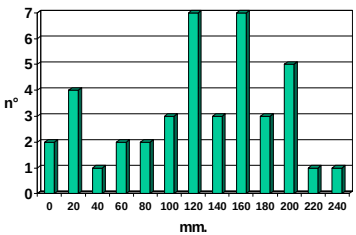
Figura 10 Stazione di Scerni Ch) - Andamento dei volumi irrigui nelle due ipotesi di restituzione idrica: 100% e 50% etm per il periodo 10 aprile – 20 agosto.



Conclusioni

Nelle realtà viticole oggetto dell'indagine, il regime termo-pluviometrico e le caratteristiche podologiche dei suoli, consentono di soddisfare le esigenze idriche della vite da vino nelle fasi fenologiche più critiche (allegagione –invaiatura) usando volumi irrigui mediamente contenuti ed evitando in tal modo di compromettere la qualità dell'uva. La gestione corretta della pratica irrigua può essere ottenuta mediante l'impiego di

Figura 11 Stazione di Scerni - Istogramma delle frequenze relativo ai volumi irrigui -Restituzione 100% etm



strumenti informatici di facile utilizzo e con un minimo input di dati.
E' necessario in ogni caso condurre delle prove sperimentali di campo per approfondire le conoscenze sulle esigenze idriche delle varietà più diffuse nella Regione Abruzzo allo scopo di verificare gli effetti sulla qualità delle uve determinati da diverse ipotesi di restituzione idrica.

Bibliografia

Acutis M. et al. (2000) Programma semplificato per la gestione dell'irrigazione ("SIMBIL"): Applicazione a colture di mais e tabacco. –Convegno POM – Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale:gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue.

Battilani A. (2001) Calcolare correttamente la fertirrigazione con il minimo input – L'informatore Agrario. 18

Battilani A., Mannini P., Anconelli S. (2000) La gestione irrigua della vite nell'ambiente sub-umido della pianura padana – Irrigazione e drenaggio. 4

Dal Monte G., Perini L. Thiery F. (1999) Studio dell'evapotraspirazione di riferimento nei comprensori dell'obiettivo 1. Uso integrato delle formule di Hargreaves- Samani e Penman-Monteith. – Convegno Naz. – L'Agrometeorologia per il Monitoraggio dei Consumi Idrici – Sassari 3-4 nov. 1999

De Palma L., Spano D., Novello V., Di Lorenzo R. (2000) esigenze idriche di *Vitis vinifera* in ambiente caldo arido– Irrigazione e drenaggio. 4

Di Lena., et al. (1996) Possibilità di applicazione dello stress idrico controllato nella coltura del pesco in Val di Sangro - Irrigazione e drenaggio. 3

Dorenboos, J., Kassam, A.H. (1986). El efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. Riego y Drenaje. 33. 212 p.

Fagnano M., Acutis M, Postiglione L.. (2000) Valutazione di un metodo semplificato per il calcolo dell'Eto in Campania –Convegno POM – Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue.

Fao (1998) Crop evapotranspiration.Guidelines for computing crop water requirements, FAO – Irrigation and Drainage Paper 56, Roma

Fregoni M., (1985) Viticoltura Generale – Reda

Giulivo C., (2000) Basi biologiche dell'Irrigazione e della fertilizzazione del vigneto – Irrigazione e drenaggio. 4

Hargreaves G.H., Samani Z.A.(1982) – Estimating potential evapotranspiration – Tech. Note, J.Irrig. and. Drain Eng. ASCE, 108

Mannini P., Gallina D. (1999) Effetti del metodo e del volume irriguo, della gestione del suolo e del portinnesto su pesco e nettarina - Irrigazione e drenaggio. 4

Poni S. (2000) La sensibilità della vite agli stress idrici - Irrigazione e drenaggio. 4

Steduto P. (1999) I coefficienti colturali: determinazione e limiti – Convegno Nazionale – L'Agrometeorologia per il Monitoraggio dei Consumi Idrici – Sassari 3-4 novembre 1999

RELAZIONI TRA VARIAZIONI CLIMATICHE, RISORSE IDRICHE E PRODUZIONI IN CAPITANATA NELL'ULTIMO DECENNIO

M. Rinaldi[1], P. Soldo[2], G. Tucci[2], G. Rana[1]
(1) Istituto Sperimentale Agronomico – Bari michele_rinaldi@libero.it
(2) Cons. per la Bonifica della Capitanata di Foggia, C.so Roma, 2 71100 Foggia p.soldo@isnet.it

Riassunto
La situazione delle riserve idriche in Puglia è ormai un'emergenza reale. Nel presente lavoro viene analizzato l'andamento temporale di pioggia e temperatura in Capitanata negli ultimi 40 anni. Tale andamento è correlato alle riserve idriche dell'invaso di Occhito, il più importante del comprensorio in oggetto, alle superfici irrigue e alle produzioni agricole della zona. L'analisi delle variabili climatiche è stata preceduta da un controllo di qualità dei dati, secondo le metodologie standard suggerite dall'WMO. La temperatura (la minima in particolare) ha mostrato un aumento di circa 1 °C negli ultimi 40 anni, con incrementi maggiori negli ultimi 20. Per la pioggia si è calcolata una riduzione media di circa 4 mm per anno. L'entità dell'acqua invasata nella diga di Occhito è stata variabile nel corso degli anni, particolarmente carente nei periodi 1988-1990 e 2000-2001. Andamento climatico e diminuzione delle riserve idriche sono state accompagnate da variazioni delle produzioni agricole, sia in termini di specie coltivate, che di superfici investite. In particolare, si è notata una riduzione delle superfici a pomodoro da industria (da 32 a 26 mila ettari negli ultimi 3 anni). Per quanto riguarda le colture ortive, queste hanno presentato una certa costanza nelle superfici investite, anche per la disponibilità di altre fonti di approvvigionamento idrico.

Abstract
The critical situation of the available water reserves in Apulia region (Italia) has become by now a real emergency. In the present work the behaviour of rain and temperature in Capitanata Plain in the last 40 years is analyzed. The climatic course was correlated to the water reserves of Occhito's dam, the main water storage in this district, and to irrigated crops and to agricultural products. The analysis of the climatic parameters above mentioned was preceded by a control of quality of the historical series, according to the standard methodologies suggested by the WMO.
The temperature (in particular, the minimum one) showed an increasing of around 1 °C in the last 50 years, with a greater increase in the last 20

years. For the rainfall, an average reduction was calculated of around 4 mm for year.
The water level in the Occhito's dam was variable during the years, with situations of serious lack in the periods 1988-1990 and 2000-2001.
Climatic course and diminution of the water reserves were accompanied by modifications of the agricultural productions, either in terms of cultivated crops or of cropped area. Particularly, a reduction of the area (from 32 to 26 thousand hectares in the last 3 years) of processing tomato was noticed. About the horticultural crops, they maintained a certain constancy in the cropped area, also for the availability of other water sources.

Introduzione

La Capitanata è la zona agricola più importante della Puglia, con circa 400.000 ha di territorio pianeggiante, e una delle più importanti dell'intero Sud d'Italia per cui la disponibilità d'acqua per l'agricoltura è un fattore determinante per l'economia di un'importante fetta di popolazione.
La situazione altamente critica delle riserve idriche disponibili per la corrente stagione irrigua in Puglia è ormai un fatto incontrovertibile. Gli invasi sono a livelli allarmanti e rispecchiano una situazione generale, comune all'area del Mediterraneo, sottoposta a clima semi-arido. Le relazioni tra ciclo idrologico e clima hanno profonde ripercussioni sull'economia e la società (Hamdy e Lacirignola, 1999) e vanno dunque esaminate in dettaglio per meglio comprendere il fenomeno e stabilire le linee di condotta per il futuro (IPCC, 1996).
In questo lavoro si analizzeranno gli andamenti climatici in Capitanata negli ultimi anni, con particolare riferimento alla temperatura dell'aria (T) e alla precipitazione (P), grandezze chiave per l'agricoltura produttiva. Tali andamenti saranno correlati alle riserve idriche dell'invaso di Occhito, il più importante del comprensorio in oggetto (gestito dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata di Foggia), alle superfici irrigue e alle produzioni agricole della zona. Il tutto sarà affrontato nel quadro della problematica relativa all'aumento della temperatura e alla diversa distribuzione annuale delle piogge, conseguenza del "Climate Change" globale (Brunetti et al., 2000; Folland et al., 1990).

Materiali e metodi

In figura 1 è riportato il Comprensorio del Consorzio per la Bonifica della Capitanata (CBC), con l'indicazione dell'ubicazione delle stazioni agrometeorologiche di sui si analizzano in dettaglio gli andamenti di temperatura dell'aria e precipitazione. Tali stazioni, scelte per la loro ubicazione rispetto all'invaso di Occhito, di cui si analizzerà il livello, sono qui di seguito dettagliate:

1. Stazione agrometeorologica meccanica di Foggia, dell'azienda sperimentale dell'Istituto Sperimentale Agronomico di Bari, gli strumenti di misura sono un termografo bimetallico SIAP e un pluviografo a vaschette basculanti SIAP. L'affidabilità dei dati è confermata dal confronto effettuato nel periodo 1995-2000 tra le misure meccaniche e le misure realizzate con strumenti automatici (termoresistenza al platino PT100 in schermo aspirato per la temperatura, pluviometro a vaschette oscillanti ARG100, collegati ad un sistema d'acquisizione dati automatico Campbell CR7X). I dati presi in considerazione sono medie (per T) e somme (per P) a livello mensile, nel periodo 1951-2001
2. Stazione agrometeorologica meccanica di Foggia, dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura, per la sola pioggia, misurata con la stessa tipologia di pluviografo, nel periodo 1955-1994
3. Stazione agrometeorologica d'Apricena, gestita dal CBC: in questo caso la T è stata misurata con un sensore della ditta C.S.I.A tipo LM35Z, con campo di misura –40 +60°C e precisione 0.3 °C alimentato a 12V, mentre la pioggia con un sensore automatico Campbell a lettura minima 0.2 mm, acquisiti in automatico da un sistema elettronico. I dati sono relativi al periodo 1989-2001
4. Stazione agrometeorologica di Lucera, gestita dal CBC e con le stesse caratteristiche delle due precedenti
5. Stazione agrometeorologica di Trinitapoli, gestita dal CBC e con le stesse caratteristiche delle precedenti.
6. Stazione pluviometrica di Occhito, gestita dal CBFC, dotata di un pluviometro meccanico SIAP. I dati sono relativi al periodo 1960-1999.

Dapprima si analizzeranno i dati relativi alla stazione di Foggia, la più completa, poi, dopo un opportuno studio comparativo, i risultati ottenuti si generalizzeranno all'intero comprensorio della Capitanata.
L'invaso d'Occhito, realizzato sul fiume Fortore, ha una capacità totale d'accumulo di 333 milioni di mc, di cui 250 milioni utili e fa parte del complesso degli impianti per l'irrigazione di un comprensorio irriguo di 143 mila ettari ricadenti nel perimetro del Consorzio per la Bonifica della Capitanata. I dati del livello medio annuale dell'invaso d'Occhito sono relativi al periodo 1983-2001.
Le informazioni statistiche relative alle superfici irrigue coltivate e alle produzioni d'alcune colture per il periodo 1991-2001, ci sono state fornite dalla Regione Puglia (Assessorato all'Agricoltura e Foreste, Uff. Analisi Economico-Statistiche in Campo Agro-alimentare).

Tutti i dati climatici analizzati in questo lavoro sono stati sottoposti ad un controllo qualità, così come indicato da SIAN (1990), dal WMO (1981; 1983a; 1983b; 1983c) e da Fritschen and Gay (1979).

Risultati

Temperatura

In figura 2 sono riportati i valori medi annuali della temperatura minima dell'aria di Foggia nel corso di 51 anni, dal 1951 al 2001, sotto forma di anomalie (differenza tra il valore medio nel periodo considerato e valore dell'anno). Dalla figura è evidente l'incremento di temperatura minima avvenuto nel corso degli ultimi 50 anni, più evidente nel periodo 1980-2000, in cui l'aumento è di circa 1 °C. Tale andamento è piuttosto consolidato (coefficiente di correlazione lineare r=0.481) e in linea con i risultati ottenuti da Maugieri e Nanni (1998) in alcuni siti dell'intera penisola.

Una prima scorsa allo sviluppo temporale di questi valori farebbe presagire un andamento ciclico della temperatura, con ciclicità più evidente per serie di dati affetti da variabilità inferiore, come per esempio quelli medi mensili di temperatura.

In figura 3 sono riportati i dati medi mensili del mede di luglio della temperatura minima di Foggia per lo stesso periodo: si notano minimi e massimi all'interno di un ciclo che parrebbe avere una durata di circa 10 anni. Il pensiero corre subito al ciclo solare, in cui si registra un andamento ciclico del numero di macchie solari di durata all'incirca di undici anni. L'aumento di macchie solari è collegabile ad un aumento dell'attività solare, e tale iperattività è stata invocata da molti autori quale responsabile dell'apparente ciclicità della temperatura misurata al suolo (tra i tanti: Wilson, 1998; Benner, 1999) anche nel caso dell'Italia (Brunetti et al., comunicazione personale). Nel nostro caso, un confronto tra numero di macchie solari e temperatura minima del mese di Luglio (figura 3), porterebbe a conclusioni opposte, visto che ad un aumento dell'attività solare sembrerebbe corrispondere una diminuzione della temperatura. Conclusioni contraddittorie analoghe alle nostre sono state raggiunte anche da molti ricercatori (tra i tanti: Friis-Christensen and Lassen, 1991; Tol, 1994), per cui la correlazione tra ciclo solare undecennale e temperatura dell'aria ci sembra al momento difficile da sostenere.

Il confronto tra temperature minime del mese di gennaio misurate a Foggia e valori ottenuti nelle stazioni 3, 4 e 5 è mostrato in figura 4. Dalla figura è evidente che gli andamenti sono sostanzialmente simili anche se con valori

assoluti abbastanza diversi, ad indicare un territorio notevolmente disomogeneo dal punto di vista climatico.

Pioggia

In figura 5 sono riportati i valori annuali di pioggia per Foggia, dal 1951 al 2001, sotto forma di anomalie (differenza tra il valore medio nel periodo considerato e valore dell'anno). Anche nel caso delle precipitazioni è evidente un decremento di circa 200 mm avvenuto nel corso degli scorsi 50 anni, più evidente negli ultimi 20. La diminuzione risulta piuttosto evidente (r=0.438) e conferma il trend negativo nei mesi estivi per il Centro-Sud d'Italia riportato da Buffoni et al. (1999).

L'andamento dei dati pluviometrici della stazione 1 è assolutamente conforme a quello della stazione 2, distante pochi chilometri dalla precedente (figura 6). Tale trend è confermato anche dalle misure pluviometriche effettuate in prossimità della diga di Occhito (Stazione 6), infatti anche in questo sito c'è una tendenza consolidata alla diminuzione di circa 4 mm all'anno (r=0.328), pur rimanendo alquanto diversi i valori assoluti (nel periodo 1960-1999: Foggia 18997 mm, Occhito 16192 mm).

Conseguenze sul livello dell'invaso di Occhito e sulle produzioni

La relazione tra andamento pluviometrico annuale e riserve idriche della Capitanata è abbastanza evidente, come mostrato in figura 7, in cui sono riportate le piogge annuali di Foggia e di Occhito ed il livello (in m^3 d'acqua mediamente presenti nell'invaso durante l'anno solare).

D'altra parte le superfici investite a colture irrigue d'alto reddito sono strettamente connesse alle riserve idriche a disposizione per l'irrigazione. Per analizzare questa relazione, invero piuttosto complessa, abbiamo considerato dapprima la superficie coltivata e le produzioni del pomodoro da industria, uno dei prodotti di punta fondamentali per l'economia del foggiano. In figura 8, infatti, è riportato l'andamento, nel tempo, del contenuto medio di acqua nell'invaso di Occhito e la superficie coltivata a pomodoro, che mostra un sostanziale sincronismo tra le due variabili. Tale relazione si perde quando si vanno ad esaminare le produzioni di pomodoro (figura 9) e ciò è dovuto al fatto che nella produzione finale di pomodoro entrano in gioco vari fattori: in primo luogo quello meteorologico locale (alte o basse temperature, vento caldo, umidità, grandine), poi quello fitosanitario (batteriosi, peronospora, scottatura dei frutti, virosi) e, infine, quello legato a problemi durante le fasi di raccolta e di commercializzazione.

La relazione tra livello dell'invaso e aree irrigue coltivate è ancor più evidente qualora si consideri l'intera superficie investita a ortaggi (figura 10). Questo dipende dal fatto che per il pomodoro la decisione riguardo la

superficie da coltivare dev'essere presa tra novembre e dicembre, periodo di semina dei cereali, momento in cui il livello dell'invaso non consente una previsione di disponibilità a 6-9 mesi. Nel caso delle colture orticole, invece, la brevità del ciclo colturale consente ordinamenti colturali più dinamici e, pertanto, le decisioni possono essere prese con una certa tempestività, non appena si ha la sicurezza sulla disponibilità o meno dell'acqua.

Conclusioni

In questo lavoro è stata accertata la relazione tra andamento climatico e riserve idriche della Capitanata, il cui livello ha ripercussioni dirette sulle produzioni agricole (specie coltivate, superfici investite, aspetti quali-quantitativi della produzione).

D'altra parte la presenza in Capitanata di numerosi pozzi a falda freatica - se ne stimano, tra regolarmente denunciati (fonte Ufficio Genio Civile FG) e non, circa 45.000 - e la conseguente realizzazione d'invasi di varia capacità (da 500 a 20.000 m^3), per sopperire alla ridotta e spesso incostante portata di tali pozzi, fanno si che una consistente quota di superficie coltivata a pomodoro sia indipendente dall'erogazione di acqua da parte del Consorzio. Al contrario, negli anni in cui l'erogazione è stata garantita, gli agricoltori hanno incrementato le superfici a pomodoro nei loro ordinamenti colturali, fino ad arrivare per l'intera provincia di Foggia a 32 mila ettari (1999). Resta, comunque, evidente il calo delle superfici investite a pomodoro in Capitanata negli ultimi anni, proprio per la minore disponibilità di acqua, sia negli invasi che nel sottosuolo, per le ridotte precipitazioni e per l'accresciuta domanda evaporativa dell'ambiente legata alle modificazioni climatiche. In conclusione l'aumento della temperatura e la diminuzione delle precipitazioni devono spingere ad un 'uso sempre più razionale delle risorse idriche.

Bibliografia

Benner, C.T., 1999. Central England temperature: long term variability and teleconnections. Int. J. Clomatol., 19, 391.403.

Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., 2000. Variations of temperature and precipoitation in Italy from 1866 to 1995. Theor. Appl. Climat., 65, 165-174.

Buffoni, L., Maugieri, M., Nanni, T., 1999. Precipitation in Italy from 1833 to 1996. Theor. Appl. Climat-., 63, 33-40.

Folland, C.K., Karl, T.R., Vinnikov, K.Y., 1990. Observed climate variations and change. In: Houghton J.K., Jenkins G.J., Ephramus J.J. (eds.) Climate Change: the IPCC scientific assessment. Cambridge University press, 135-170.

Friis-Christensen, E. and K. Lassen 1991. Length of the solar cycle, an indication of solar activity closely associated with climate. *Science* **254**, 698-700.
Fritschen, L.J., Gay, L.W., 1979. Environmental instrumentation. Springer-Verlag, NY, pp 215.
Hamdy, A., Lacirignola, C., 1999. Mediterranean water resources: major challenges towards the 21st century. CIHEAM-IAM Bari, Italy, March 1999, 570 pp.
IPCC, 1996. Climate change. The IPCC second assessment report. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattemberg A., Maskell K., (eds.). N.Y.: Cambridge University press, 572 pp.
Maugieri, M., Nanni, T., 1998. Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1993. Theor. Appl. Climat., 61, 191-196.
SIAN (Sistema Informativo Agricolo Nazionale), 1990. Analisi climatologica e progettazione della rete agrometeorologica nazionale. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Direzione Generale della Produzione Agricola), aprile 1990.
Tol, R.S.J. 1994. Greenhouse statistics - time series analysis. *Theor. and Appl. Climatol.*, **49**, 91-102.
Wilson, R.M., 1998. Evidence of solar-cycle forcing and secular variation in the Armagh observatory temeprature record (1844-1992). J. Geophys. Res., 103(1), 159-171.
WMO, 1981. Guide to agricultural meteorological practices, no. 134. Geneva, Switzerland.
WMO, 1983a. Document no. 8. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Secretariat of World Meteorlogical Prectices, Geneva, Switzerland.
WMO, 1983b. Document no. 49. Technical regulation Volume I, General meteorological standards and recommended practices. Secretariat of World Meteorlogical Organisation, Geneva, Switzerland.
WMO, 1983c. Document no. 100, Guide to climatological practices. Secretariat of World Meteorlogical Prectices, Geneva, Switzerland.

Figura 1. Cartina della Capitanata con ubicazione delle stazioni (1=Foggia Istituto Sperimentale Agronomico; 2=Foggia Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura; 3=Apricena; 4=Lucera; 5=Trinitapoli; 6=Occhito).

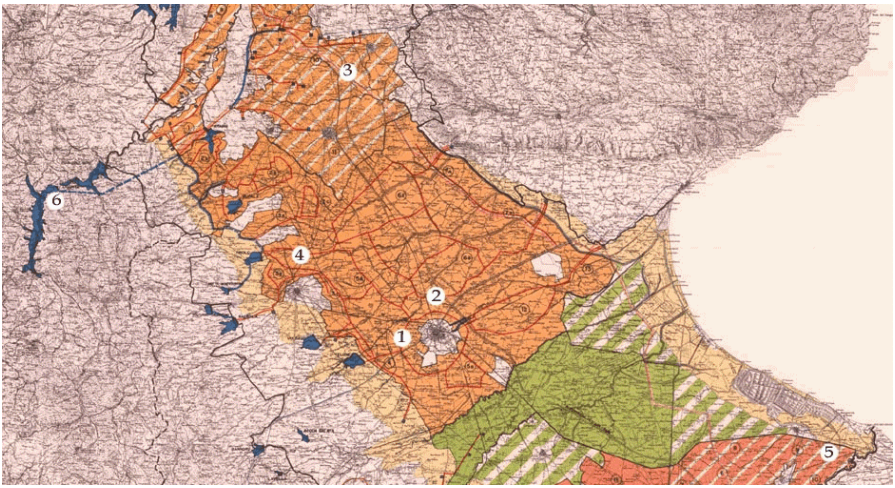


Figura 2 - Anomalie della temperatura minima misurata a Foggia (stazione 1), medie annuali nel periodo 1952-2001.

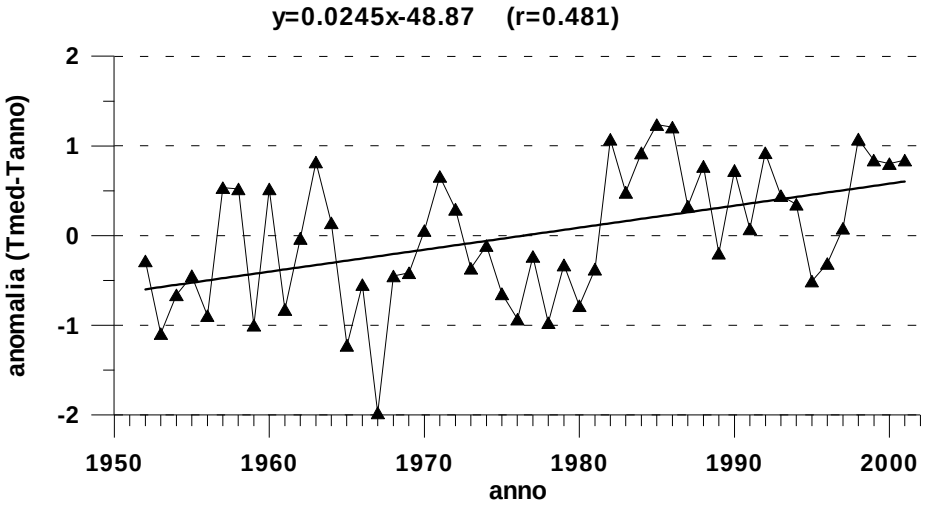


Figura 3. - Temperatura minima del mese di luglio a Foggia (stazione 1) e numero di macchie solari nel periodo 1952-2000.

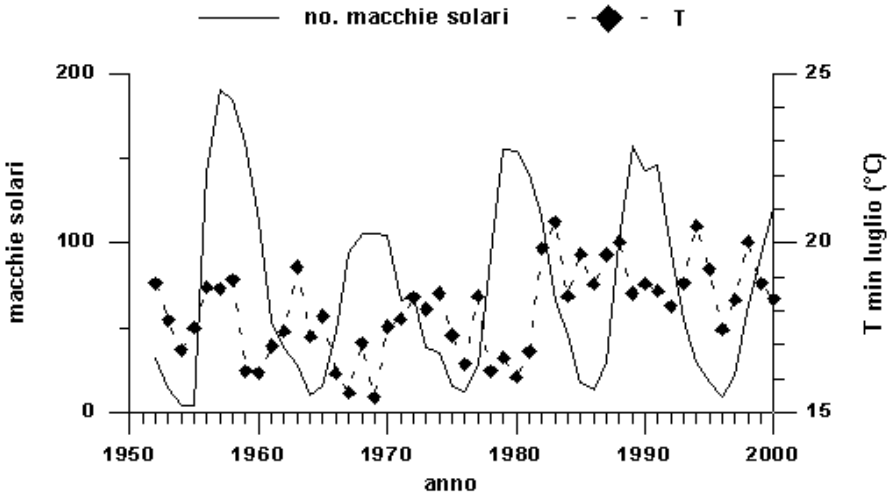


Figura 4 - Temperatura minima del mese di gennaio nel tempo, per le stazioni di Foggia (stazione 1), Apricena (stazione 3), Lucera (stazione 4) e Trinitapoli (stazione 5).

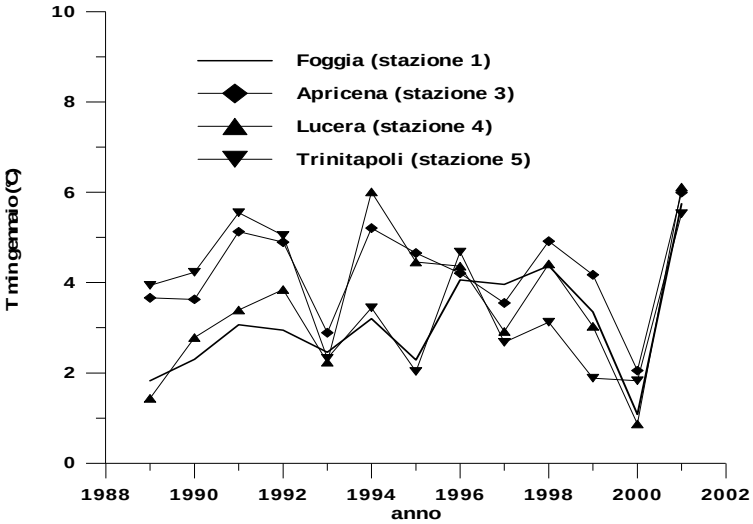


Figura 5 - Anomalie della pioggia annuale misurata a Foggia (stazione 1) nel periodo 1952-2001.

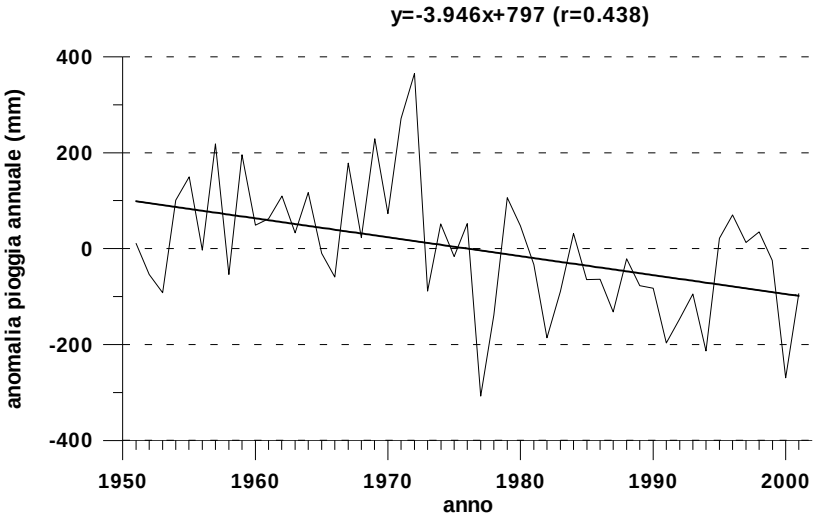


Figura 6 - Pioggia annuale nel tempo per le stazioni di Foggia (stazione 1), Foggia (stazione 2) e Occhito (stazione 6).

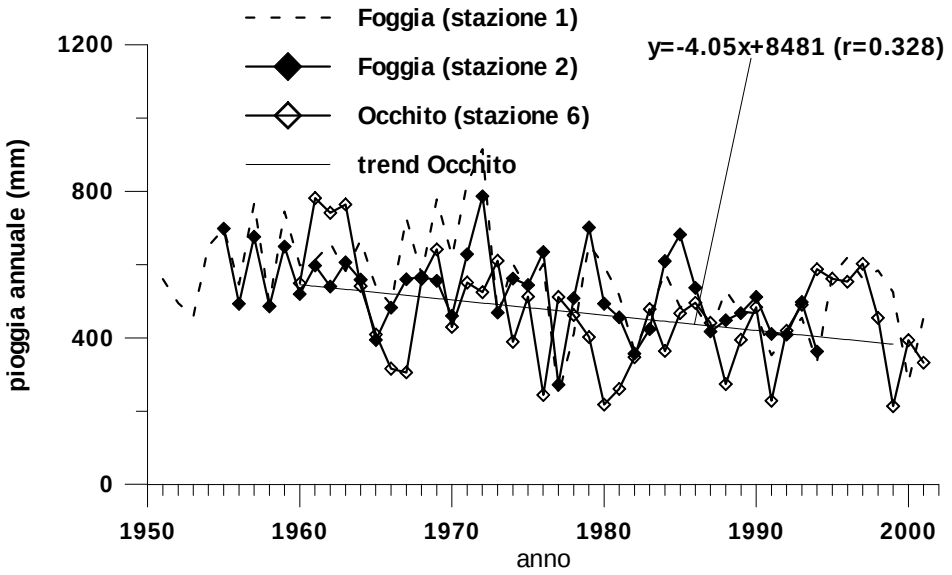


Figura 7 - Pioggia annuale a Foggia (stazione 1) e Occhito (stazione 6) con andamento nel tempo del livello medio annuale (in milioni di m^3) dell'invaso di Occhito.

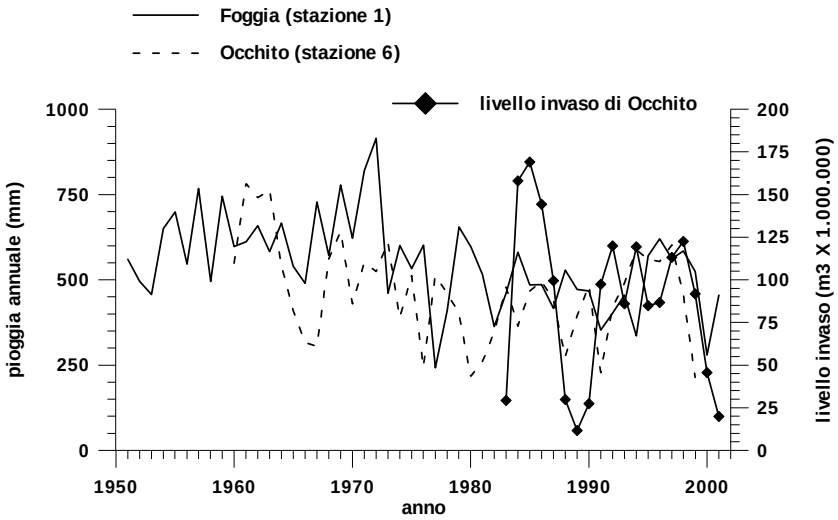


Figura 8 - Livello della diga di Occhito nel tempo e superfici coltivate a pomodoro da industria in Capitanata.

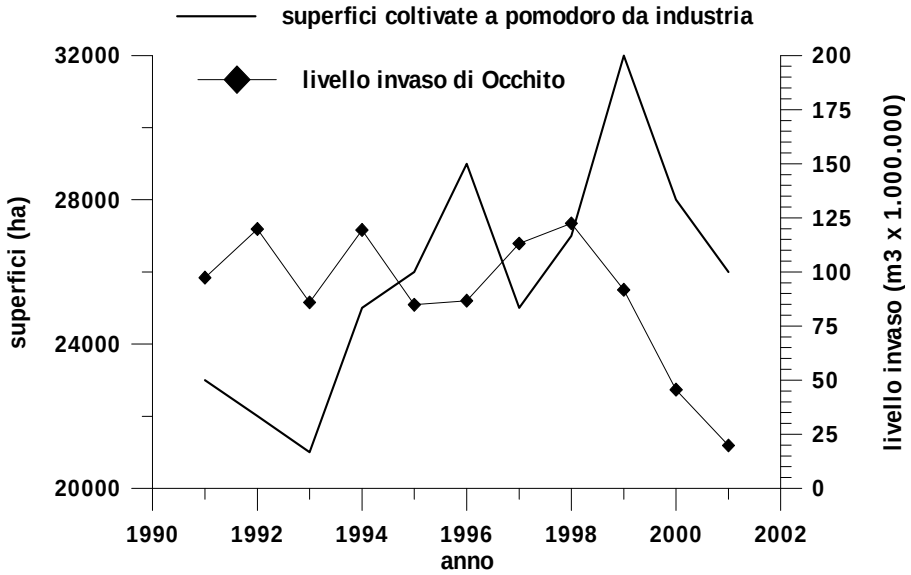


Figura 9 - Livello della diga di Occhito nel tempo e produzioni (in q/ha) di pomodoro da industria in Capitanata.

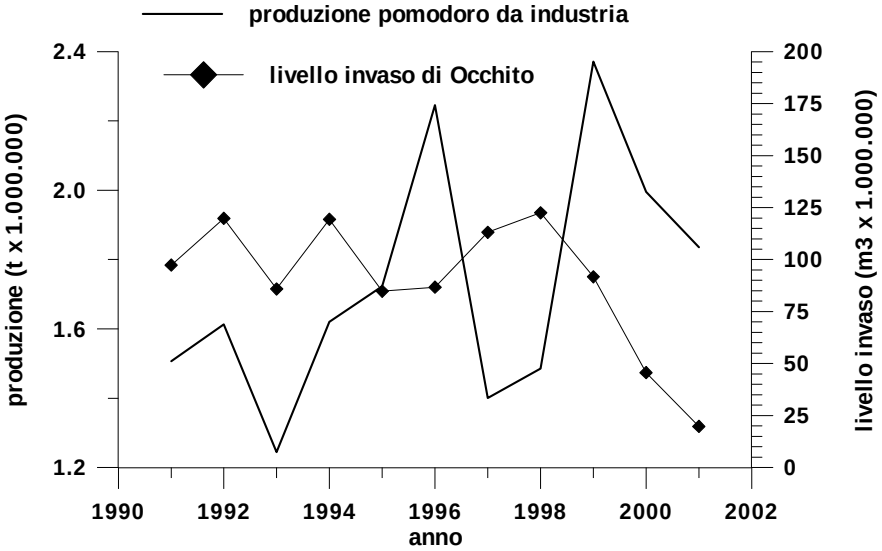
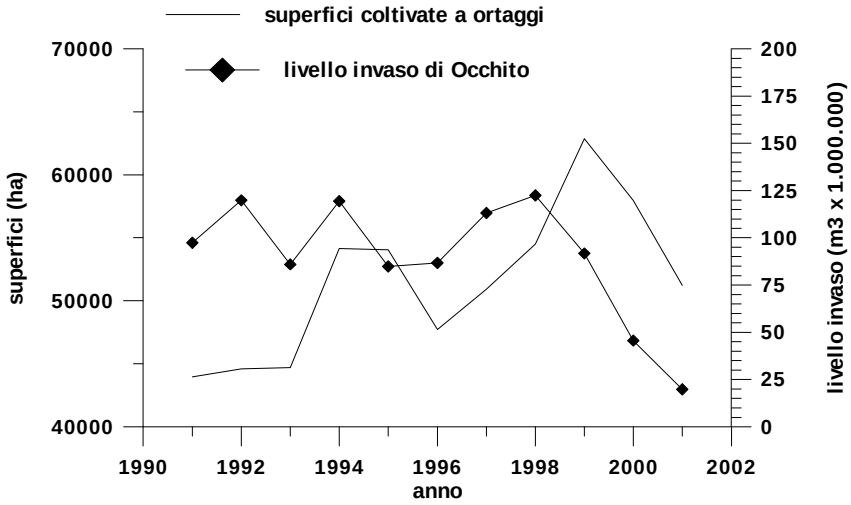


Figura 10 - Livello della diga di Occhito nel tempo e superfici coltivate a ortaggi in Capitanata.



LA SICCITÀ IN ITALIA: SPUNTI DI DISCUSSIONE SUL CLIMA, SUGLI ASPETTI PEDOCLIMATICI E SUL BILANCIO IDRICO

A.Morgillo[1,2], A. Brunetti[1] & L. Salvati[1]
(1) Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Mipaf, Roma
(2) Arpa Emilia Romagna. – Servizio Meteorologico Regionale
abrunetti@ucea.it

Riassunto
Vengono analizzate le serie storiche di precipitazione giornaliera del periodo 1979-2000 di alcune stazioni meteo della Sicilia presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, al fine di fornire indicazioni sui metodi con cui viene affrontato il problema della siccità in Italia e in particolare in Sicilia. E' stato inoltre computato l'indice SPI (Standardized Precipitation Index) sulle serie storiche di precipitazione mensile per valutare l'entità e la durata dei periodi
Viene infine considerata la cartografia disponibile relativa agli indici di disponibilità idrica nel suolo (AW, Available Water) e di entità della siccità al fine di includere nell'analisi il contributo delle caratteristiche pedologiche dei suoli nonché l'evapotraspirazione.

Abstract
The aim of this paper is to give some suggestions about the methods for analysing drought conditions in Italia, with regard to Sicilia island.
We analysed the daily precipitation of weather stations belonging to SIAN network working in the period 1979-2000. Afterward we computed SPI index for monthly precipitation series to analyse the length of dry periods in the same region. Finally, we estimated AW's and AWC's maps to include the pedological characteristic of soil and evapotranspiration.

Introduzione

La siccità è un fenomeno meteorologico reso complesso da vari aspetti, tra cui particolare rilievo assumono la durata, l'estensione in vari ambiti territoriali, l'entità, e la relativa influenza sulle attività umane, in particolare sulle pratiche agricole. Conseguentemente, anche gli approcci metodologici nel definire il fenomeno, la scelta e la validazione dei relativi indicatori, nonchè i metodi di lotta devono essere vari e molteplici. Occorre pertanto considerare attraverso quali indici monitorare la siccità, e naturalmente distinguere tra episodi siccitosi ed eventi di carenza idrica di lungo periodo.

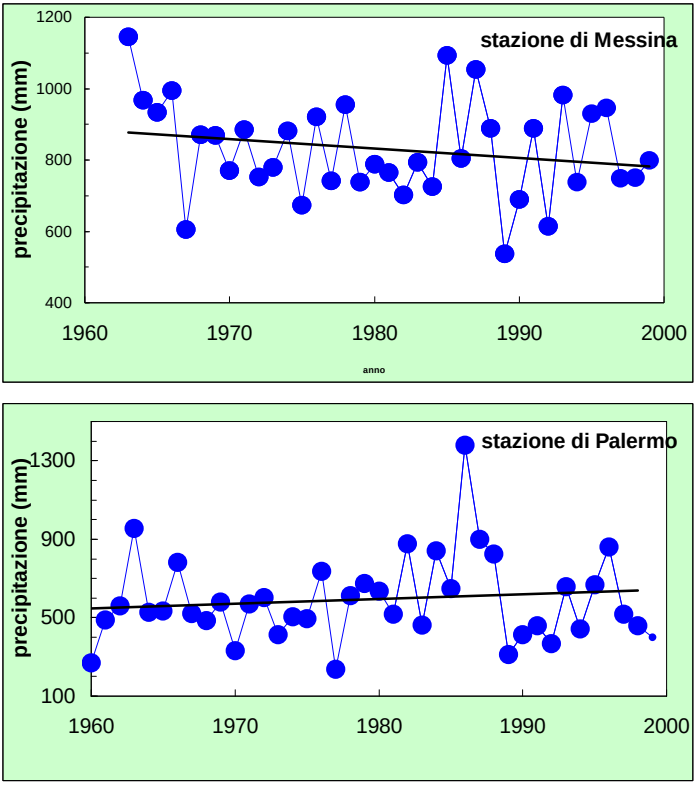
Un evento siccitoso deriva da una scarsa precipitazione rispetto ad un valore atteso di riferimento in un dato periodo e in una data area. Va inoltre evidenziato il ruolo dell'andamento meteorologico nel mitigare o aggravare condizioni di siccità dovute ad un ridotto apporto meteorico.
Le caratteristiche dei suoli, con particolare riferimento alla capacità di ritenzione idrica, rendono il problema della siccità ancor più complesso a scala spaziale di dettaglio.
Le conseguenze della siccità sono diverse in relazione alla scala temporale in cui avvengono. Ci si aspetta che la scarsità di precipitazioni rispetto alla quantità attesa abbia conseguenze a breve termine sull'umidità del suolo, ma solo la persistenza di tale anomalia di precipitazione potrà avere conseguenze sulla resa delle colture o sulle falde acquifere.
Una prima possibile verifica di tali affermazioni consiste nell'analizzare i dati appartenenti a serie storiche di precipitazione per individuare eventuali trend negativi, perlomeno su scala annuale. Tale analisi esplorativa appare di limitato interesse quando si tenta di definire un singolo episodio di siccità. Pertanto, un secondo passo nell'analisi del problema è quello di utilizzare indicatori diffusi per il monitoraggio della siccità, quali ad esempio l'Indice di Precipitazione Standard (SPI), che può fornire indicazioni, su scala mensile, sia dell'entità della siccità che della durata dei periodi secchi.
Infine, uno strumento di analisi integrato, ovvero che tenga conto della quantità di precipitazione e degli eventi di evapotraspirazione in stretta relazione alle caratteristiche pedologiche dei suoli di riferimento, è fornito dalle carte di disponibilità idrica AW (Available Water) basate sulla capacità dei suoli di trattenere l'acqua (AWC). Tale cartografia è disponibile su base decadale e fornisce una spazializzazione dei dati a livello di regione agraria ISTAT.
Il presente contributo è dedicato alle condizioni di siccità attuali e pregresse in Sicilia, una regione storicamente a rischio di siccità. In tale Regione le precipitazioni sono concentrate essenzialmente in un periodo che va da novembre a febbraio con una distribuzione spaziale eterogenea, soprattutto nelle zone interne.

Il trend delle precipitazioni in alcune stazioni della Sicilia

Sono stati analizzati i dati delle serie storiche di 12 stazioni della Sicilia dal 1960 al 2000 per fornire un'indicazione degli andamenti del totale di precipitazione annuale. I dati provengono dalla banca dati del SIAN costituita a partire dai dati delle reti del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria. Le stazioni considerate sono solo una parte di quelle presenti nella banca dati del SIAN

e la scelta è stata fatta tenendo presente la necessità di considerare serie storiche sufficientemente lunghe (e quindi statisticamente significative) e con un numero limitato di dati mancanti. Ove possibile si è tenuto conto inoltre della distribuzione geografica e della necessità di avere stazioni tuttora funzionanti. I dati considerati sono valori giornalieri di precipitazione aggregati attraverso programmi di elaborazione scritti in linguaggio fortran per ottenere valori mensili e annuali.

Figura 1 – Andamento annuale della percipitazione a Messina e Punta Raisi. Lo studio riguarda gli anni 1960-2000 e mostra una lieve diminuzione della pioggia nella stazione di Messina. L'andamento negativo degli ultimi anni è mitigato da una piovosità abbastazna rilevante negli anni 1986-87 (a cura di Filippo Thiery).



In figura 1 (a,b) è riportata l'analisi del cumulato annuo di precipitazione con relativo andamento statistico (linea di tendenza) per le stazioni di Palermo Punta Raisi e Messina. I grafici mostrano una situazione differente

a livello locale, con una leggera diminuzione della precipitazione annuale a Messina.
Dalle analisi dei trend di precipitazione di tutte le stazioni prese in esame si deduce che la riduzione delle precipitazioni annue è un fenomeno significativo solo in alcune zone della regione: in particolare mentre alcune stazioni, come quella di Messina, mostrano una tendenza alla diminuzione del cumulato annuo di precipitazione, in altre, come ad esempio Palermo, la linea di tendenza non mostra alcuna diminuzione.
Le informazioni che possiamo trarre da serie storiche non troppo lunghe come quelle in esame, riguardano soprattutto l'analisi territoriale delle precipitazioni, le indicazioni sulla loro maggiore o minore carenza e la variabilità del segnale.

L'indice di precipitazione standardizzato SPI

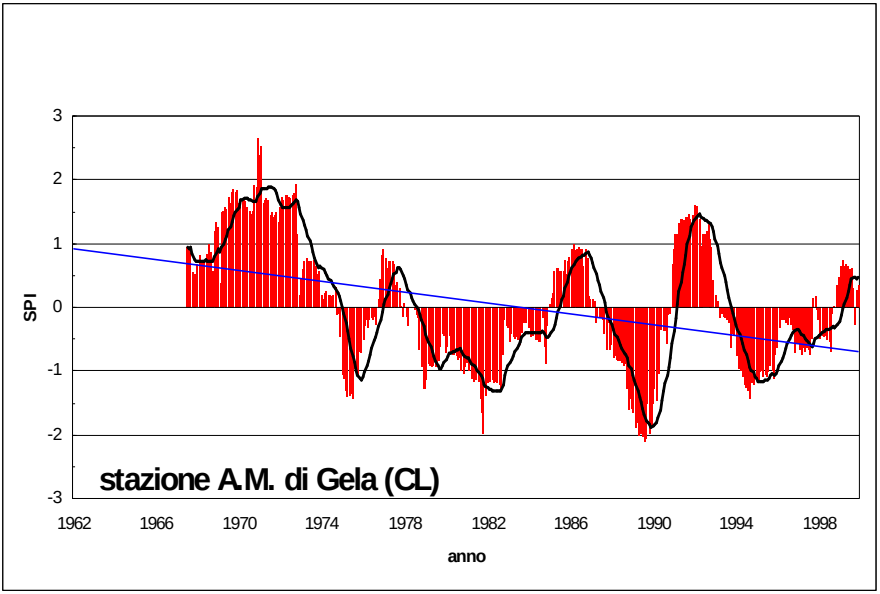
L'Indice di Precipitazione Standardizzato (SPI), sviluppato da McKee et al. (1993), viene utilizzato per monitorare un deficit di precipitazione su scale temporali diverse misurando una anomalia di precipitazione. Essendo un indice standardizzato (quindi non influenzato dal dato medio di pioggia del sito considerato) ha il merito di poter confrontare stazioni climaticamente differenti. Lo svantaggio consiste nel fatto che per essere rappresentativo necessita di serie storiche lunghe ed essenzialmente prive di dati mancanti e perciò difficilmente reperibili.

La procedura per il calcolo dell'indice è teoricamente semplice. Si prende in esame la serie storica di precipitazione descritta con una distribuzione di probabilità convenientemente scelta e poi trasformata in una distribuzione normale attraverso una trasformazione di coordinate. L'utilizzo della distribuzione normale garantisce l'indipendenza dal dato medio peculiare del sito in questione. La variabilità del segnale (composto da valori positivi e negativi) indica condizioni di abbondanza o di deficit di precipitazioni rispetto al dato normalmente atteso sulla scala di tempo utilizzata. Il perdurare di segnali negativi indica la durata dell'evento siccitoso. La variabilità del segnale di cui stiamo parlando è indicizzata dal numero di deviazioni standard rispetto alle condizioni normali. Naturalmente la classificazione va intesa in termini probabilistici interpretando i segnali come frequenze di eventi che cadono in ciascuna classe. Riportiamo in figura 1 la classificazione delle varie classi. I risultati, per una delle stazioni prese in esame, sono mostrati in figura 2.

Tabella 1 - tabella di valutazione dell'indice SPI; viene riportato il numero di deviazioni standard rispetto ad un valore medio di precipitazioni atteso per una data stazione.

SPI	Classe
> 2	Estremamente umido
da 1.5 a 1.99	Molto umido
da 1.0 a 1.49	Moderatamente umido
da - 0.99 a 0.99	Nella norma
da –1 a –1.49	Moderatamente secco
da –1.5 a –1.99	Molto secco
< -2	Estremamente secco

Figura 2 - Calcolo dell'indice di SPI per la stazione di Gela (CL) nel periodo 1962 -2000. La figura mostra come gli eventi positivi e negativi siano in qualche modo ciclici. La linea di tendenza indica inoltre una ricorrenza di valori SPI negativi, quindi una tendenza a periodi secchi. (A cura di Filippo Thiery).



La carenza idrica nel suolo

Un ulteriore elemento di valutazione delle condizioni di siccità sono le mappe di disponibilità idrica del suolo (AW) e di entità della siccità che sono basate sulla capacità di ritenzione di acqua dei suoli .

L'indice AW rende conto dell'acqua disponibile nel suolo ad una certa data tenendo conto delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione e delle caratteristiche pedologiche del suolo. A titolo di esempio riportiamo le carte di AW e di entità della siccità (figure 3 e 4) riferite all'ultimo giorno del mese di giugno 2002 e la cui risoluzione spaziale è la Regione Agraria ISTAT.

La carta dell'entità della siccità dà indicazioni della combinazione della durata e dell'intensità della carenza di precipitazioni.

Figura 3. Mappa di AW riferita al mese di giugno 2002.

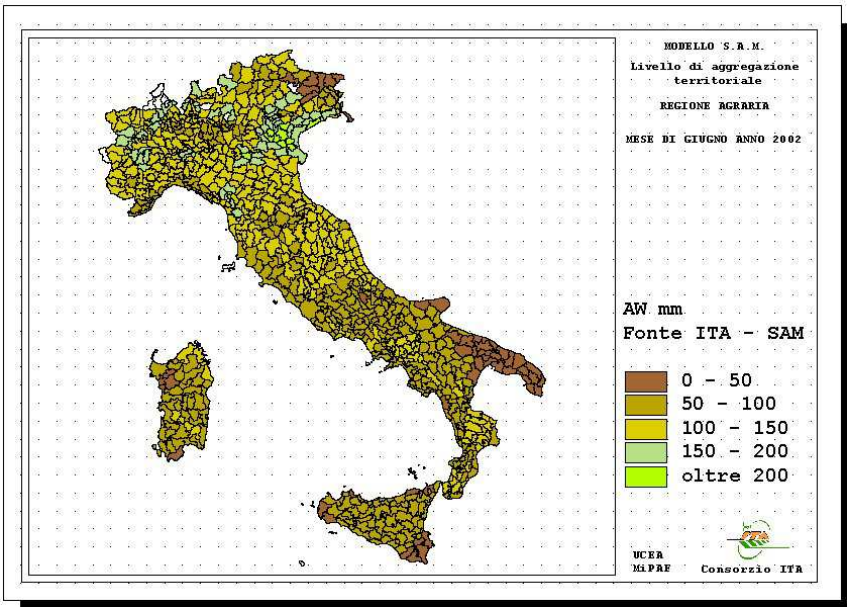
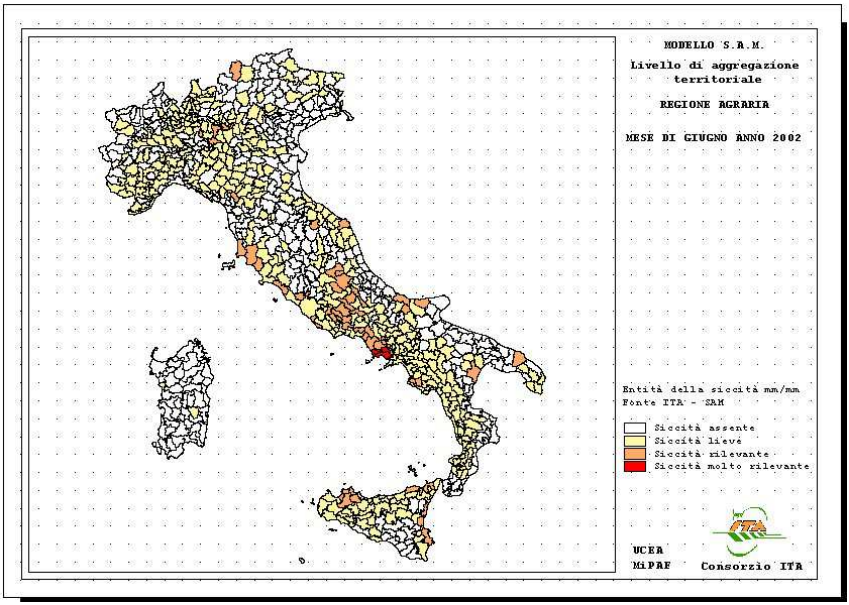


Figura 4 - Mappa dell'entità della siccità, derivante dal rapporto AW/AWC percentuale, e riferita al mese di giugno 2002.



Conclusioni

La siccità è un fenomeno meteorologico che mostra tutta la sua complessità in particolare quando lo si riferisce all'attività agricola. In questo caso, infatti, si deve considerare sia l'influenza delle caratteristiche del suolo sulla dinamica delle riserve idriche utili per le piante sia delle carenze stagionali peculiari proprio delle produzioni agrarie. Si sono riportati alcuni esempi di approccio allo studio della siccità descrivendo alcuni dei metodi adottati per lo studio di questi fenomeni dall'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria. Alcuni di questi sono metodi standard, come ad esempio lo studio dei trend di precipitazione o il calcolo dell'indice di SPI; altri, come le cartine di durata ed entità della siccità basate sulla AW e AWC del suolo, sono più originali e peculiari. Le applicazioni riguardano in particolare la Sicilia, una regione spesso interessata da lunghi periodi di assenza di precipitazioni ed evidenziando che proprio nelle aree interne dell'isola si manifesta una riduzione progressiva delle precipitazioni.

Bibliografia

McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration ot time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.

MONITORAGGIO E PREVISIONE DEI POLLINI ALLERGENICI IN EMILIA ROMAGNA

F. Zinoni[1], R. Renati[1], T. Tonelli[1], (**) A. Ranzi[2]
fzinoni@smr.arpa.emr.it
(1) SMR - ARPA Emilia-Romagna, Viale Silvani 6, Bologna
(2) Epidemiologia Ambientale - ARPA Emilia-Romagna, Strada Attiraglio 23, Modena

Lavoro realizzato con il contributo del P.F. del MiPAF - PHENAGRI

Riassunto
La rete regionale di monitoraggio dei pollini allergenici, gestita da ARPA dell'Emilia Romagna, è costituita da 10 stazioni localizzate prevalentemente nei capoluoghi di Provincia. I campionatori (VPPS2000 Lanzoni) sono situati in area urbana ed effettuano il monitoraggio delle principali famiglie botaniche di interesse allergologico tutto l'anno. Viene redatto settimanalmente da ARPA-SMR il Bollettino Regionale dei pollini allergenici che contiene informazioni anche relative alle spore fungine. E' in corso l'analisi dei dati storici per le diverse famiglie botaniche al fine di mettere a punto i modelli previsionali e i calendari pollinici. Sono stati considerati modelli statistici, per stimare l'inizio del volo pollinico e reti neurali per seguire nel tempo l'andamento delle concentrazioni polliniche.

Abstract
The regional Aeroallergen Network, run by ARPA- ER (Regional environmental Agency in the Emilia-Romagna - Italia), consist of about ten Monitoring Centres located in urban area generally in each provincial main town.
All Monitoring Centres follow the same standard procedure for pollen and spore counting. The stations use a Hirst volumetric sampler (Lanzoni VPPS2000) and they are active all year long, to aid researchers in diagnosis, treatment and management of allergic diseases. At a regional level, a weekly report (pollen bulletin) is spread by the Regional Meteorological Service of ARPA-ER: it includes even information on molder spores. The historical series of data, for the principal botanic family, are, at the moment, under analysis: the aim is to set local pollen forecast models and pollen calendars. Statistical models have been taken into consideration to forecast the start of pollen release while Neural Networks have been used to simulate, during time, pollen concentration variations.

Introduzione

La pollinosi rappresenta uno dei più noti aspetti della patologia allergica che si manifesta con disturbi anche gravi delle funzioni respiratorie. La manifestazione allergica è provocata dalla presenza in aria di corpuscoli che, insieme ai granuli pollinici, costituiscono l'aeroplancton (spore, batteri, acari).

Recenti studi dimostrano che negli ultimi anni si è assistito ad un progressivo aumento dei soggetti interessati alla problematica soprattutto in ambito urbano. Tale situazione potrebbe dipendere dalla concomitanza di altri agenti irritanti (es: inquinamento da riscaldamento e da motorizzazione) a cui sono sottoposte le popolazioni cittadine.

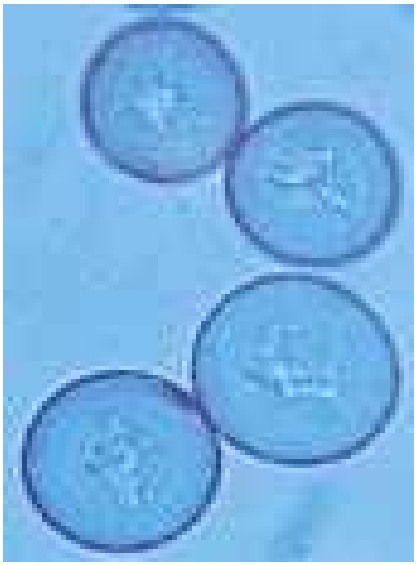
La frequenza delle manifestazioni allergiche varia sensibilmente in relazione all'ambiente (posizione geografica, esposizione, altitudine, ecc.), alla stagione, alla tipologia floristica (anche in ambito urbano) ed alle condizioni meteorologiche (la temperatura, l'umidità dell'aria, il vento e le precipitazioni) che possono modificare la comparsa e la concentrazione dei pollini in aria e la reazione dell'organismo.

Le specie polliniche di maggiore interesse dal punto di vista allergologico sono quelle che presentano un meccanismo riproduttivo basato sull'impollinazione anemofila. I granuli pollinici di queste piante hanno spesso dimensioni ridotte (inferiori a 40 µm) tanto da poter rimanere a lungo sospesi nell'aria e venire facilmente inalati. Le dimensioni hanno una notevole influenza sulla localizzazione dei granuli nei diversi tratti dell'apparato respiratorio provocando una differente espressione allergica. Le particelle con diametro inferiori ai 10 µm possono causare manifestazioni asmatiche. Inoltre, le piante a diffusione anemofila sono caratterizzate da un'elevata produzione di granuli pollinici, il che rappresenta la principale strategia per il successo dell'impollinazione.

I pollini di maggiore interesse dal punto di vista allergenico in Emilia-Romagna sono quelli di graminacee, urticacee (parietaria) e oleacee (olivo). Inoltre negli ultimi anni sono stati osservati casi di sensibilizzazioni verso nocciolo e carpini (corilacee), cipressi (cupressacee, taxacee), ontano e betulla (betulacee), ambrosia (composite) e Pini (pinacee). .

Recente è anche l'attenzione posta alle spore fungine sia perchè spesso responsabili di gravi complicazioni nelle patologie respiratorie, sia per gli aspetti fitopatologici . In considerazione di entrambi gli aspetti, attualmente nei centri di monitoraggio di ARPA-Emilia Romagna sono oggetto di particolare attenzione anche le spore di Alternaria e di Stemphylium.

Figura 1 - Immagine al microscopio ottico di granuli pollinici di cipresso.

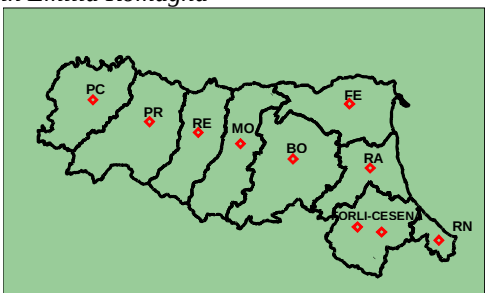


La rete di monitoraggio di ARPA

La rete regionale di monitoraggio dei pollini allergenici gestita da ARPA è costituita da 10 stazioni localizzate prevalentemente nei capoluoghi di Provincia: Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena, Bologna, Ferrara, Ravenna, Forlì, Cesena e Rimini (figura 2).

I campionatori pollinici (figura 3) sono situati in area urbana, prevalentemente posizionati al centro di terrazzi posti alla sommità di edifici con altezza compresa tra 15 – 20 m, in modo tale che la circolazione atmosferica locale non risenta della presenza di ostacoli vicini. La gestione delle stazioni di rilevamento è affidata ai Dipartimenti Tecnici delle Sezioni Provinciali di ARPA.

Figura 2- rete di monitoraggio dei pollinini in Emilia Romagna

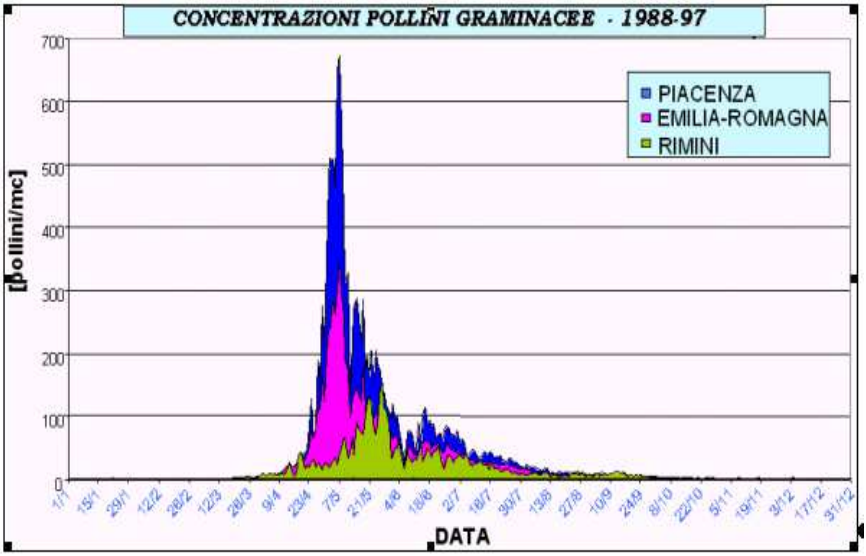


Gruppi formati da biologi e tecnici ben addestrati garantiscono che la preparazione dei campioni e la relativa lettura al microscopio ottico siano eseguiti

secondo criteri di qualità nel rispetto di procedure standardizzate.
Le stazioni di monitoraggio di ARPA Emilia Romagna sono attive tutto l'anno. Il metodo di campionamento più diffuso a livello internazionale per indagini di tipo qualitativo e quantitativo su pollini e spore fungine aerodisperse è attualmente quello volumetrico, basato sulla cattura per impatto delle particelle atmosferiche su una superficie, attraverso l'aspirazione di un volume noto di aria (volume che simula l'aspirazione umana media, pari a circa 10 litri/minuto). Il campionamento, la lettura, l'archiviazione e la trasmissione dei dati avvengono a cadenza settimanale; la risoluzione del dato è giornaliera.

Figura 3 - Campionatore volumetrico VPPS2000 Lanzoni

Figura 4 - Andamento della concentrazione di Graminacee in regione, nell'area occidentale e nella zona orientale.



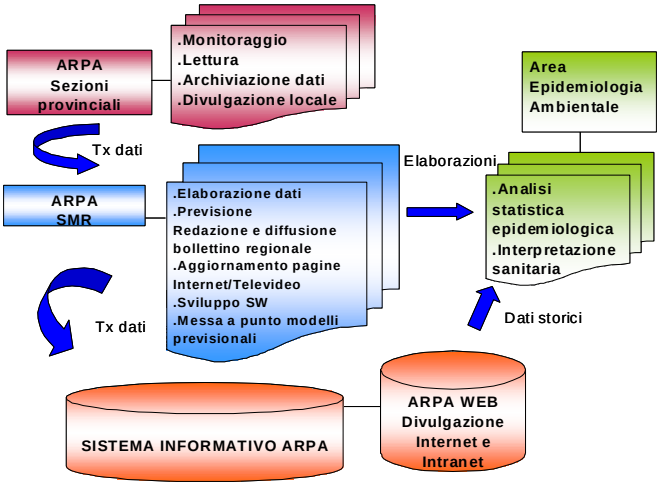
Elenco delle famiglie botaniche e dei generi rilevati

La rete regionale di monitoraggio dei pollini allergenici di ARPA- Emilia Romagna effettua il campionamento dei pollini appartenenti alle famiglie botaniche di maggior interesse dal punto di vista allergologico. Vengono allestiti campioni giornalieri sottoposti ad analisi in microscopia ottica per il riconoscimento ed il conteggio dei granuli pollinici e delle spore fungine.
Le famiglie botaniche e i generi monitorati sono:
Betulacee; Composite; Corilacee; Fagacee; Graminee; Oleacee; Plantaginace; Urticaee; Cupres.–Taxacee; Cheno-Amarantacee; Poligonacee; Euphorbiace; Mirtacee; Ulmacee; Platanacee; Aceracee; Pinacee; Salicacee; Ciperacee; Ontano; Betulla; Ambrosia; Artemisia; Nocciolo; Carpini; Olivo; Frassino; Alternaria; Stemphylium.
Le concentrazioni medie giornaliere misurate sono espresse in numero di granuli per metro cubo d'aria.
La metodologia utilizzata per la preparazione e l'analisi dei campioni fa riferimento allo standard operativo messo a punto dall'Associazione Italiana di Aerobiologia (AIA)

Organizzazione e analisi dei dati

Il bollettino di analisi e previsione dei pollini allergenici riunisce servizi ARPA aventi competenze e professionalità diverse in materia ambientale e sanitaria: il diagramma in figura 5 illustra l'organizzazione dell'attività nel suo complesso e il flusso dei dati.

Figura 5 – flusso delle informazioni



I dati sono organizzati in un database ACCESS con campi suddivisi nelle due basi dati principali (metadati e dati). E' in corso l'analisi dei dati storici per le diverse famiglie botaniche; a titolo di esempio si riportano i risultati preliminari per le graminacee relativi alle date di comparsa e di concentrazione pollinica massima dei diversi siti di rilevazione e per i diversi anni e all'analisi di similitudine per gruppi delle medesime variabili.

Figura 6 - Andamento della data media regionale (1..365) del superamento della soglia di concentrazione alta (oltre 30 pollini / metro cubo d'aria)

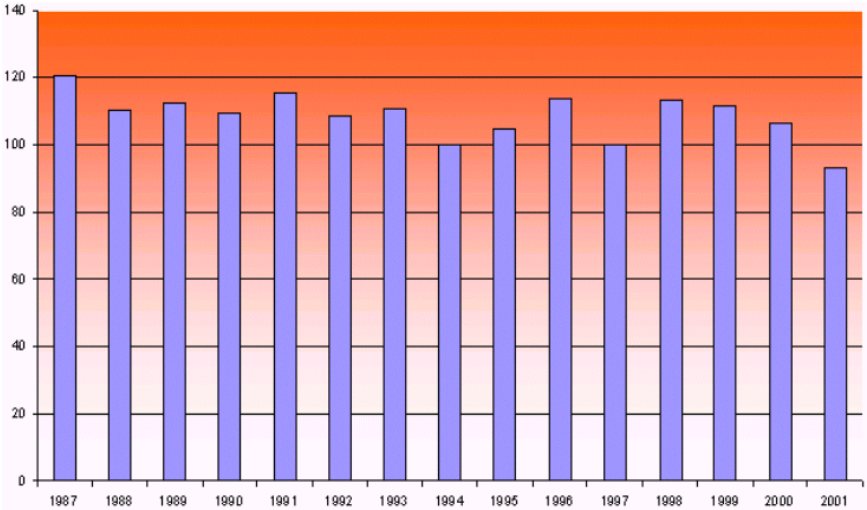


Figura 7 Giorno medio (1..365) di superamento della soglia di concentrazione alta (oltre 30 pollini / metro cubo d'aria) nelle varie figure

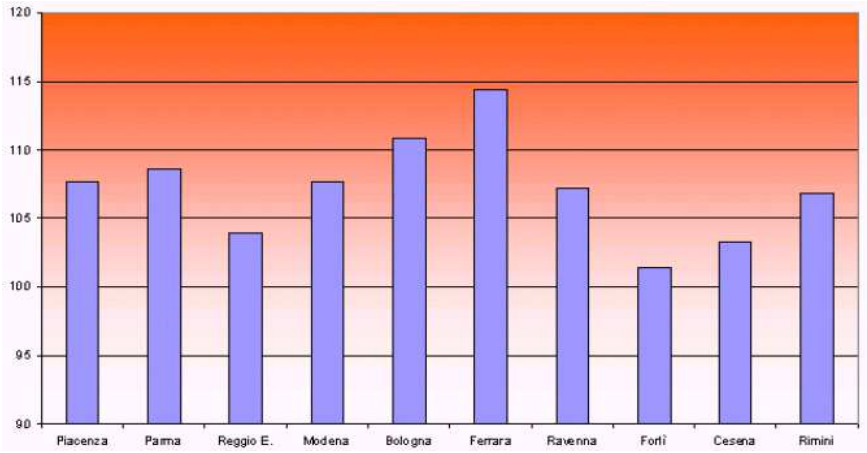
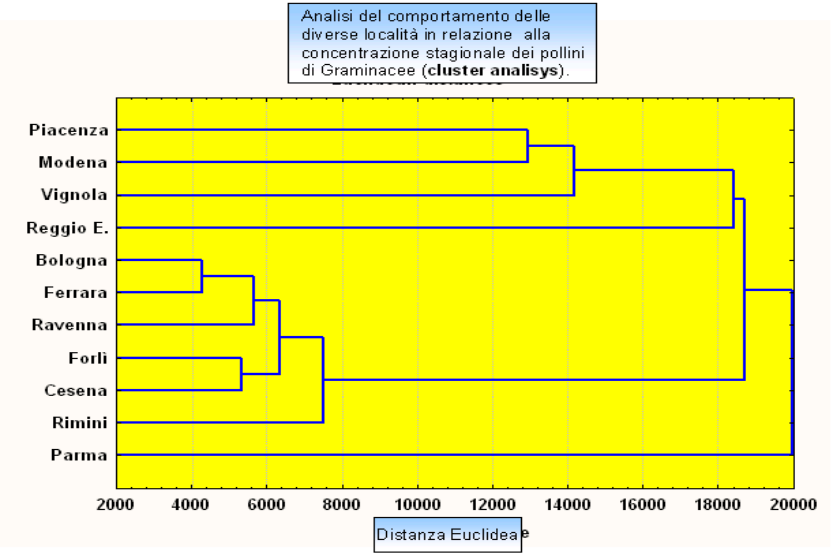
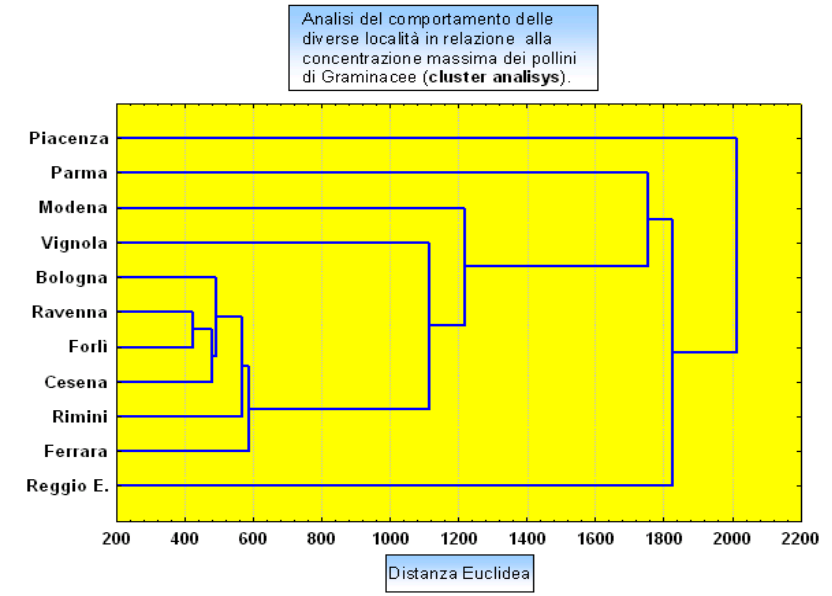


Figure 8 e 9 - Alcuni risultati della cluster analysis



-



La previsione dei pollini allergenici

Per la stima della concentrazione pollinica o per la stima della data di allerta per le diverse soglie di concentrazione pollinica sono state utilizzate diverse tipologie di modelli previsionali:

modelli statistici: sono state considerate le principali variabili agrometeorologiche medie e cumulate nel periodo compreso tra l'inizio dell'anno e le date di superamento dei valori a diverse soglie (1, 5, 10, 30, 100 come media mobile di ordine 7)

modelli deterministici: esprimono l'anticipo o il ritardo della vegetazione rispetto agli anni precedenti stimato sulla base di modelli agrometeorologici normalmente utilizzati per le specie agrarie, come ad esempio la sommatoria termica (con soglie differenti) o i modelli specifici per coltura (frumento, ecc.).

reti neurali: Le reti neurali sono una tecnologia di elaborazione delle informazioni ispirata dagli studi del cervello e del sistema nervoso. La topologia di una rete neurale prevede due componenti fondamentali:

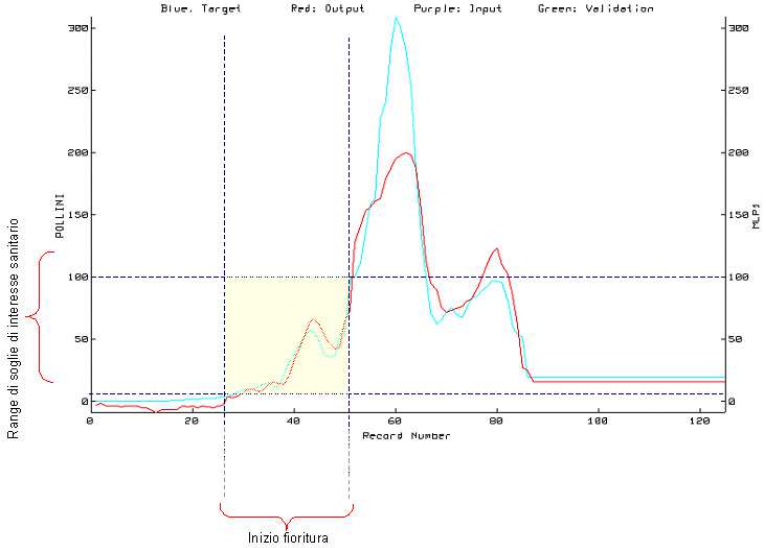
unità o neuroni: simulano la cellula nervosa; ricevono in input una serie di informazioni, le elaborano e producono un valore in output;

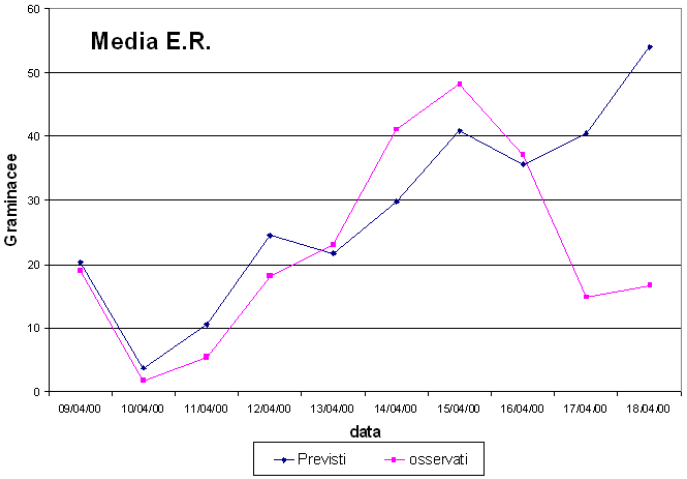
connessioni: simulano dendriti e assone; collegano le varie unità, e sono caratterizzate da un valore variabile (peso della connessione).

In questo caso i predittori sono rapresentati da dati meteorologici, agrometeorologici e biologici (temperatura media, minima e massima, precipitazioni, bilancio idrico, concentrazioni polliniche dei giorni precedenti ecc.) e dal giorno dell'anno mentre i campi calcolati sono rappresentati dalla previsione pollinica con presenza di pollini in atto (serie temporale di 1 settimana a partire da 3 giorni prima per prevedere la variazione della concentrazione giornaliera).Le figure 10 e 11 illustrano l'errore di stima commesso su un campione di dati utilizzando la rete neurale.

Nel primo caso è evidente la sottostima della rete (linea rossa) nei momenti di picco, mentre nel secondo grafico appare evidente la divergenza della previsione rispetto ai valori osservati all'aumento del numero di giorni interessati dalla previsione.

Figure 10 e 11 – analisi dell'errore di stima per una rete neurale.





Il servizio di analisi e previsione

In considerazione del rischio sanitario viene redatto settimanalmente da ARPA-SMR il bollettino regionale dei pollini allergenici che fornisce le seguenti informazioni:

1.Analisi retrospettiva dei dati: commento relativo alle concentrazioni polliniche osservate a livello regionale.

2.Previsione dei pollini: commento relativo alla previsione dei pollini per la settimana (previsione regionale dei pollini fino a quattro giorni e tendenza per i tre giorni successivi).

3.Informazioni meteorologiche: commento meteorologico della settimana e previsione per la settimana successiva.

4.Concentrazioni osservate e previste delle principali famiglie: vengono riportate, per i diversi punti di osservazione, le concentrazioni rilevate nella settimana e quelle previste per i tre giorni successivi, espresse in quattro classi (assente, bassa, media e alta); per i quattro giorni successivi viene fornita la previsione della tendenza.

5.Concentrazioni medie e massime rilevate in regione per tutte le famiglie: tavole numeriche delle concentrazione per evidenziare i valori medi e massimi della settimana nei diversi nodi di rilevazione e per tutte le famiglie botaniche considerate.

E' attivo anche un sito internet con il seguente indirizzo: www.arpa.emr.it.

Figura 11 - Bollettino regionale dei pollini e sito web

Bibliografia

Baum, E.B. and Haussler, D.: 1988, What size net gives valid generalization?, *Neural Computation*, **1**, pp.151-60.

Chakraborty, K., Mehrotra, K., Mohan, C.K., Ranka, S.: 1992, Forecasting the Behavior of Multivariate Time Series Using Neural Networks, *Neural Networks*, **5**, 961-970

Frenguelli, G. and Bricchi, E.: 1998, The use of the pheno-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa, *Aerobiologia*, **14**,39-44.

Hann, T.H. and Steurer, E.: 1996, Much ado about nothing? Exchange rate forecasting: Neural Networks vs. linear models using monthly and weekly data, *Neurocomputing*, **10**, 323-339.

Moseholm, L., Weeke, E., Petersen, B.N.: 1987, Forecast of pollen concentration of Poaceae (grasses) in the air by time series analysis, *Pollen and Spores*, **29**, 305-322.

Norris-Hill, J.: 1998, A method to forecast the start ofthe Betula, Platanus and Quercus pollen season in North London, *Aerobiologia*, **14**,165-170.

Puppi Branzi, G. and Zanotti, A.L.: 1992, Estimate and mapping of the activis of airborne pollen sources, *Aerobiologia*, **8**, 69-74.

Rumelhart, D.E., McClelland, J.L. and the PDP Research Group: 1986, Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol. 1, Cambridge: MIT Press.

Stark, P.C., Ryan, L.M., McDonald, J.L., Burge, H.A.: 1997, Using meteorological data to predict daily ragweed levels, *Aerobiologia*, **13**,177-184.

Tiao, G.C. and Tsay, R.S.: 1989, Model specification in multivariate time series, *Journal of the Royal Statistical Society*: **B 51**, 157-213.

Weigend, A.S., Huberman, B.A., Rumelhart, D.E.: 1991, Generalization by weight elimination with application to forecasting, *Advances in Neural Information Processing Systems*, **3**, 875-882.

HYGHSPLIT 4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model Configuration, NOAA Transport Modeling and Assessment – Silver Spring, MD.

CONFRONTO TRA STIME DELLA EVAPOTRASPIRAZIONE DI RIFERIMENTO AI FINI DELL'ASSISTENZA TECNICA IRRIGUA IN ABRUZZO

B. Di Lena[1], M. Acutis[2]
(1) Regione Abruzzo, Arssa Centro Agrometeorologico Regionale, C.da Colle Comune 66020 Scerni (CH) car@arssa.abruzzo.it
(2) Dip di Ingegneria Agraria e Agronomia del territorio, Università "Federico II" di Napoli.

Riassunto
Questo lavoro riferisce sui risultati ottenuti indagando la possibilità di utilizzare formule semplificate rispetto a quella di Penman Monteith per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento. In tal modo si possono valorizzare al meglio i dati prevalentemente termopluviometrici raccolti dal centro Agrometeorologico di Scerni della regione Abruzzo ai fini di assistenza tecnica all'irrigazione. La formula di Hargreaves richiede la ricalibrazione di un coefficiente empirico per evitare sovrastime sistematiche dell'ET0 mentre la formula di Priestley-Taylor fornisce stime pressochè coincidenti a quelle offerte dalla Penman-Monteith. La possibilità di stimare la radiazione solare in base all'escursione termica (modello di Bristow-Campbell) e di usare le stime ottenute per il calcolo della Priestley-Taylor consente stime migliori della formula di Hargreaves ma richiede alcune stazioni dotate di radiometro rappresentative dei diversi areali per ottenere i coefficienti per l'applicazione del modello di Bristow-Campbell.

Abstract
Simplified formulation to compute the reference evapotranspiration (ET0) are compared with the Penman-Monteith formula. In a project for technical assistance to irrigation scheduling, under development by the Scerni Agrometeorological bureau of the region Abruzzi (Italia), simplest formulas allow the usage of station with temperature and rainfall records only. Pluvio-thermometric station are widespread in Abruzzi region, whilst only few station have still solar radiation, wind speed and air humidity measurement. Hargreaves formula showed a underestimation respect to Penman-Monteith formula, and a calibration of an empirical coefficient is required. The Priestley-Taylor formula produce estimates, in this environment, very close to the Penman-Monteith ones. An improvement of the Hargreaves ET0 estimation is obtained using, in the Priestley-Taylor formula, the Bristow-Campbell estimate of daily solar radiation in place of the measured data. This latter approach although, require the availability

of some station with radiation data acquisition, to obtain local reliable coefficient for the Bristow-Campbell model.

Introduzione

L'evapotraspirazione di riferimento (Eto) viene definita come la quantità di acqua dispersa nell'atmosfera, attraverso i processi di evaporazione e traspirazione delle piante, da un prato di ampia estensione i cui processi di crescita e produzione non sono limitati dalla disponibilità idrica o da altri fattori di stress.
Essa in pratica rappresenta la domanda evapotraspirativa dell'ambiente; è strettamente correlata alle variabili meteorologiche (radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, velocità del vento) e non è influenzata dai processi fisiologici della coltura.
Il quaderno 56 della FAO (Allen et al., 1998) suggerisce per il suo calcolo la formula di Penman-Monteith che prende in considerazione sia le variabili fisiologiche sia quelle aerodinamiche che stanno alla base dei meccanismi di controllo del flusso evapotraspirativo.
La numerosità delle variabili meteorologiche richieste non consente la sua applicazione generalizzata nella regione Abruzzo in quanto la maggior parte delle stazioni della rete del Centro Agrometeorologico regionale di Scerni non è dotata di sensori in grado di rilevare la radiazione solare e l'intensità del vento.
Pertanto con il presente lavoro è stata valutata la possibilità di utilizzare alcune delle formule di calcolo più semplici e maggiormente utilizzate; tra queste sono state scelte, per la loro amplissima diffusione, quelle di Hargreaves e di Priestley-Taylor. L'uso della formula di Hargreaves (eventualmente anche attraverso al ricorso a opportune procedure di calibrazione) presenterebbe il vantaggio di non richiedere ulteriore strumentazione oltre a quella già installata mentre l'applicazione della formula di Priestley-Taylor richiederebbe di dotare le stazioni di un misuratore della radiazione solare con aumento della complessità della rete agrometeorologica. Si è voluta inoltre valutare la possibilità di stimare la radiazione solare dalle temperature massime e minime, usando il modello di Bristow-Campell, e di introdurre le stime così ottenute nella formula di Priestley-Taylor. Tale approccio risulterebbe produrre stime di buona consistenza e ben applicabili in simulazioni con modelli ecofiologici delle colture (Bellocchi et Al., 2000) e comporterebbe la necessità di dotare di radiometro un numero ridotto di stazioni.

Materiali e metodi

Il Centro Agrometeorologico Regionale di Scerni dispone di una rete di monitoraggio climatico costituita da 64 stazioni, delle quali solo 5 misurano

la radiazione solare e la velocità del vento oltre alla temperatura e umidità dell'aria da almeno un biennio.
Per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento, sono stati utilizzati i dati rilevati dalle 5 stazioni complete funzionanti da almeno 2 anni. Essendo l'indagine finalizzata all'assistenza irrigua si sono utilizzati i dati relativi al periodo compreso tra il primo aprile e il 30 settembre
Dall'elaborazione sono stati esclusi tutti i giorni con dati mancanti o anomali. I criteri utilizzati per la definizione dei dati anomali sono stati i seguenti: Tmin < 0° C, T max >45°C; umidità relativa >100%; escursione termica > di 30 °C; valori della radiazione totale giornaliera maggiori dei valori della radiazione extra atmosferica.
La tabella 1 riporta le caratteristiche delle stazioni gli anni utilizzati e il numero di giorni validi.

Tabella 1 - Principali informazioni relative alle stazioni utilizzate

Stazione	Areale	Altimetria	Anni	N° giorni con dati validi
Avezzano	Fucino	690	98-01	646
Borgo–Ottomila	Fucino	650	99-01	546
Pratola Peligna	Valle Peligna	340	98-01	702
Villamagna	Collina litoranea	75	00-01	360
Paglieta	Collina litoranea	40	98-01	644

L'implementazione dell'equazione di Penman- Monteith segue la proposta FAO (Allen et al., 1998) ed è la seguente:

$$Et_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)}$$

dove:
Et_0 = Evapotraspirazione di riferimento (mm d^{-1})
Rn = radiazione netta (MJ m^{-2} d^{-1}) (stimata dalla radiazione globale)
G= Flusso di calore nel suolo (MJ m^{-2} d^{-1})
T= temperatura dell'aria (°C)
U_2 = velocità del vento (m s^{-1}) a 2 m dal suolo
e_s - e_a = deficit di saturazione (kPa) (stimato da Ur max, Ur min, T max e T min)
Δ = pendenza della curva di pressione (kPa $°C^{-1}$)

γ = costante psicrometrica (kPa °C^{-1})

Le alternative semplificate confrontate con la formula di Penman-Monteith sono le seguenti:

a) Formula di Hargreaves-Samani

$$Et_0 = CRa\left(T + 17{,}8\right)\sqrt{\Delta T}$$

dove:
Eto = flusso evapotraspirativo in mm d^{-1}
C = costante empirica pari a 0.0023
Ra= radiazione solare extraterrestre in mm d'acqua evaporata al giorno
T = Temperatura media giornaliera (°C)
ΔT = escursione termica giornaliera (°C)

Si fa notare che esiste un'altra formula di Hargreaves et al., (19xx) del tutto identica a quella di Hargreaves e Samani, se non per il valore del coefficiente C, che è assunto pari a 0.0022, e che quindi, a parità di altre condizioni, comporta stime inferiori del 4,3%.

b) formula di Priestley-Taylor

$$Et_0 = 1.26\,\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\,\frac{(Rn - G)}{\lambda}$$

dove:

Rn = radiazione netta (MJ m^{-2} d^{-1}) (stima da radiazione globale)
Δ = pendenza della curva di pressione (kPa °C^{-1})
G= Flusso di calore nel suolo (MJ m^{-2} d^{-1})
γ = costante psicrometrica (kPa °C^{-1})
λ =calore latente di vaporizzazione (MJ Kg^{-1})

si è inoltre voluto verificare le performances della formula di Priestley-Taylor utilizzando, in sostituzione dei dati misurati di radiazione globale, una loro stima ottenuta con il modello di Bristow-Campbell(1984).

$$RG = Ra * \tau * \left[1 - \exp\left(\frac{-b\Delta T^{c}}{month\Delta T} \right) \right]$$

dove:

RG = radiazione globale (MJ m^{-2} d^{-1})
Ra = radiazione solare extraterrestre in (MJ m^{-2} d^{-1})
τ = coefficiente di trasmissività massimo (adim.)
b = coefficiente empirico (adim).
ΔT = escursione termica giornaliera (°C)
c = coefficiente empirico (adim.), normalmente uguale a 2
monthΔT = escursione termica media mensile (°C)

Sebbene il metodo di Bristow-Campell non risulti il migliore tra i vari disponibili, è tuttavia il più semplice e affidabile quando le serie di dati disponibili per la calibrazione dei suoi coefficienti empirici è limitata a pochi anni (Bellocchi et al, 2002). Per la stima della radiazione è stato utilizzato il programma Radest3 (Donatelli et al, 2002).

Risultati e discussione

Confronto Hargreaves vs Penman-Monteith

La figura 1 mette in evidenza che considerando assieme tutte le località, la formula di Hargreaves, sovrastima l'ET0 rispetto alla Penman Monteith, come evidenziato dal coefficiente angolare della retta di regressione che ha valore statisticamente e consistentemente inferiore a 1 e che non viene compensato da un'intercetta di 0.5 mm circa. Le regressioni calcolate entro località sono statisticamente diverse tra loro, e la maggior sottostima è fatta registrare dalle stazioni delle aree interne (Stazioni di Avezzano, Borgo Ottomila e Pratola Peligna) dove è alta l'escursione termica, mentre si registrano sottostime contenute o nulle nelle aree a minor altitudine, confermando quanto evidenziato da Fagnano et al (2001). D'altro canto sottostime dell'equazione di Hargreaves sono già state segnalate, in ambienti del sud Italia, da Rana et al. (2001). Si impone quindi una ricalibrazione della formula di Hargreaves, per adattarla alle caratteristiche specifiche delle località. Per quanto si sia verificata la possibilità di ricalibrare, con l'uso di un software di regressione non lineare (SPSS vers. 11) sia ogni singolo coefficiente empirico della formula, o a coppie o tutti e 3 contemporaneamente, la miglior calibrazione (perché più parsimoniosa

nei parametri a parità di capacità predittive) si è ottenuta intervenendo sul solo coefficiente C.

Tabella 2 - Valori del coefficiente C per l'equazione di Hargreaves ottenuti attraverso calibrazione contro le stime dell'equazione di Penman-Monteith. Il valore del coefficiente di determinazione è quello conseguente alla applicazione dei coefficienti ottenuti.

Località	valore	e.s.	LS	LI	RMSE1	RMSE2	R^2
Avezzano	0.00185	1.16E-05	0.001826	0.001872	1.34	0.40	0.741
Borgo-Ottomila	0.00184	1.14E-05	0.00182	0.001865	1.37	0.40	0.716
Paglieta	0.00230	1.44E-05	0.002286	0.002342	0.56	0.56	0.717
Pratola	0.00166	8.86E-06	0.001644	0.001678	2.54	0.33	0.758
Villamagna	0.00217	1.83E-05	0.002132	0.002204	0.60	0.52	0.681

e.s.=errore standard del coefficiente C
LS= limite fiduciale superiore (asintotico) per il coefficiente C (α=0.05)
LI= limite fiduciale inferiore (asintotico) per il coefficiente C (α=0.05)
RMSE1: root mean square error prima della calibrazione
RMSE1: root mean square error dopo la calibrazione
Valore= valore ottimale del coefficiente C dell'equazione di Hargreaves

La calibrazione si è dimostrata particolarmente efficace nel ridurre RMSE (root mean square error), in particola-re nelle località dove era presente un errore sistema-tico. Dato il ridotto numero di stazioni disponibili, non è al momento possibile identificare criteri geografici o meteorologici per la scelta del coefficiente più opportuno. In tabella 1 sono riportati i coefficienti che ottimizzano la stima dell'ET0 con Hargreaves per le stazioni analizzate.

Confronto Priestley – Taylor vs. Penman-Monteith

Priestley-Taylor stima l'ET0 Penman-Monteith con ottima precisione anche se le regressioni lineari Penman-Monteith vs. Priestley-Taylor differiscono statisticamente tra località e i coefficienti di regressione sono spesso inferiori a 1. Gli scarti rispetto alla retta 1:1 sono però in ogni caso minimi e nessuna correzione o ricalibrazione pare opportuna. Si nota la presenza di un discreto numero di sottostime da parte della formula di Priestley-Taylor, tutte connesse a giornate particolarmente ventose. Se ne desume un evidente interesse pratico nel dotare di un misuratore della radiazione solare le centraline destinate al supporto della programmazione irrigua e la possibilità di integrare la misura di radiazione e temperatura con osservazioni, anche empiriche, che segnalino giornate ventose.

Tabella 3 - Root mean square error e coefficienti di determinazione relativi al confronto Priestley-Taylor vs. Penman Monteith

Località	RMSE	R^2
Avezzano	0.16	0.91
Borgo-ottomila	0.14	0.90
Paglieta	0.19	0.82
Pratola	0.56	0.89
Villamagna	0.18	0.89

Confronto Priestley – Taylor con radiazione solare stimata vs. Penman-Monteith

Per stimare la radiazione solare con il metodo di Bristow-Campbell è necessario disporre di misure di radiazione nella stessa località o in località prossime. Nel caso specifico, per ottenere la stima del parametro b, si sono usati i dati della stazione stessa, mentre il parametro c è stato fissato al valore di 2. In figura 3 si evidenzia un miglioramento della predizione dell'ET0 rispetto alla semplice formula di Hargreaves, come evidenzato dall'R^2 e dai parametri della retta di regressione. Infatti il coefficiente angolare, pur essendo statisticamente diverso da 1, risulta assai più prossimo a questo valore, mentre l'intercetta permane statisticamente diversa da 0 e simile a quella riscontrata con il metodo di Hargreaves. Le località differiscono tra loro per coefficiente angolare e intercetta, ma non si registra per nessuna di esse un errore sistematico importante come avveniva con la fomula di Hargreaves.

I valori di RMSE (tabella 4) risultano nettamente migliori di quanto conseguibile con la formula di Hargreaves e appena peggiori se confrontati con quelli ottenibili con Hargreaves dopo ricalibrazione; analoghe considerazioni valgono a proposito del coefficiente di determinazione. Complessivamente, le performance ottenibili con questo approccio, per quanto migliori di quelle ottenibili con Hargreaves, non si avvicinano a quelle ritraibili dall'uso della Priestley-Taylor con la radiazione misurata.

Tabella 4 - Root mean square error e coefficienti di determinazione relativi al confronto Priestley-Taylor con radiazione stimata secondo Bristow-Campbell vs. Penman Monteith.

Località	RMSE	R^2
Avezzano	0.49	0.70
Borgo-ottomila	0.44	0.70
Paglieta	0.69	0.60
Pratola	0.91	0.72
Villamagna	0.41	0.61

Conclusioni

Lo studio ha permesso di stabilire che per quanto riguarda la Formula di Hargreaves è necessario ricalibrare il coefficiente 0.0023 di Hargreaves riducendolo almeno del 20% nelle stazioni di Avezzano, Borgo Ottomila e Pratola Peligna ricadenti in aree interne della Regione.
Nelle altre località (Villamagna e Paglieta), ricadenti nella collina litoranea, non appare invece opportuna la ricalibrazione.
L'applicazione della formula di Priestley-Taylor consente di ottenere eccellenti risultati anche in assenza di misura della velocità del vento.
Disponendo anche di poche misure di radiazione sul territorio, la stima della radiazione secondo Bristow-Campbell e la successiva applicazione della Priestley-Taylor apparirebbe nettamente consigliabile rispetto all'uso di Hargreaves, se non si ha possibilità di ricalibrare i coefficienti empirici di quest'ultima.
Riguardo alle possibili scelte per lo sviluppo di una rete agrometeorologica per il pilotaggio dell'irrigazione, a parte l'ovvia ipotesi di avere un elevato numero di stazioni con la strumentazione per la stima dell'ET0 secondo Penman-Monteith, appare opportuno dotare le stazioni esistenti di un misuratore di radiazione solare, al fine di calcolare l'ET0 con la formula di Priestley-Taylor. In un'alternativa orientata alla riduzione dei costi, si potrebbe dotare solo alcune stazioni di radiometro, calibrare su di esse il modello di Bristow-Campbell (e anche verificare modelli più avanzati) e calcolare la Priestley- Taylor con i dati così ottenuti. Un'ultima alternativa è predisporre alcune stazioni complete per areale e su di esse ricalibrare i coefficienti di Hargreaves.

Bibliografia

Allen R.G., Pereira R.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements –* Fao Irrigation And Drainage Paper 56, Roma, 300 p.
Bellocchi G., Fila G., 2000. *Stima giornaliera dell'evapotraspirazione di riferimento mediante i modelli di Penman-Monteith e Priestley-Taylor, usando input climatici minimi*. Riv. di Irr. e Dren., 47, 64-74.
Bellocchi G., Acutis M., Fila G., Donatelli M., 2002. *An indicator of solar radiation model performance based on a fuzzy expert system.* Agronomy Journal, 94:1222-1233 (in press).
Bristow K.L., Campbell G.S., 1984. *On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature*. Agric. For. Meteorol. 31, 159-166.Donatelli M., Bellocchi G., Fontana F., 2002. RADEST 3.00. *Software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables*. Europ. J. of Agron, in press.

Fagnano M., Acutis M., Postiglione L., 2001. *Valutazione di un metodo semplificato per il calcolo dell'ETP in Campania*. In: Eds L. Postiglione, A. Santini, M. Fagnano, "Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue. Gutemberg, Salerno, ISBN 88-900475-0-8.

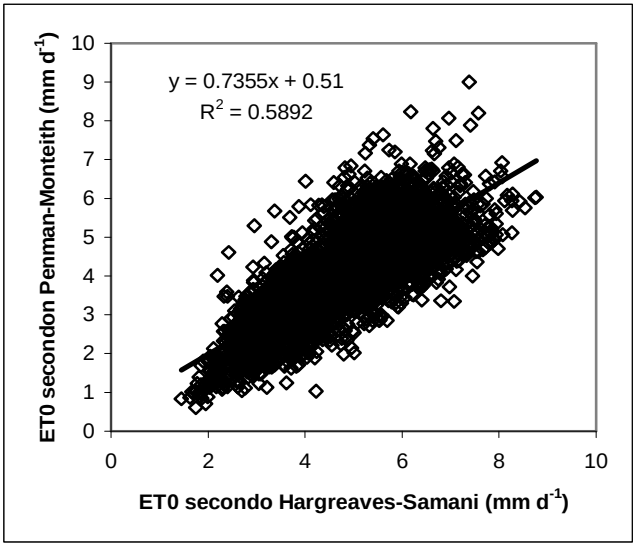
Hargreaves G.H., Samani Z.A.(1982).*Estimating potential evapotranspiration* – Tech. Note, J.Irrig. and. Drain Eng. ASCE, 108

Hargreaves, G.L., Hargreaves G.H., Riley J.P., 1985. *Agricultural benefit for Senegal river basin.* J of Irr. and drain. Engen., ASCE, 111, 113-124.

Priestley C.H.B., Taylor R.J., 1972. *On the assesment of the surface heat flux and evaporation using large scale parameters.* Monthly Weather rev., 100, 81-92

Rana G., Rinaldi M., Introna M., Ciciretti L., 2001. *Determinazione dei consumi idrici del pomodoro da industria in Capitanata.* In: Eds L. Postiglione, A. Santini, M. Fagnano, "Modelli di agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue. Gutemberg, Salerno, ISBN 88-900475-0-8.

Figura 1 - Confronto tra l'ET0 calcolata con Penman – Monteith e con Hargreaves.



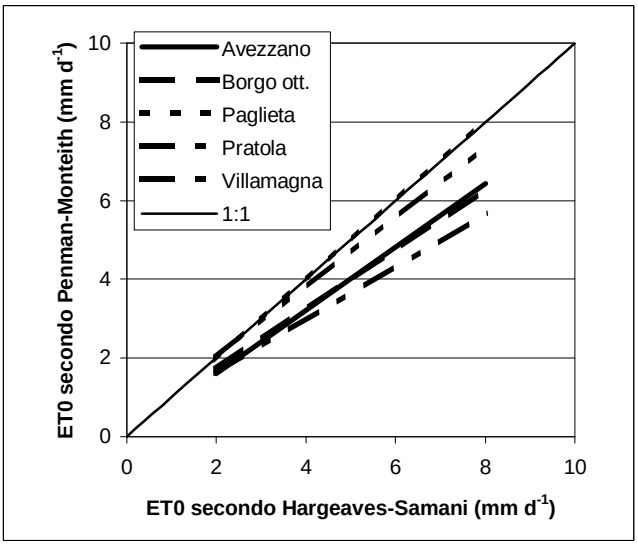


Figura 2 - Confronto tra l'ET0 calcolata con Penman – Monteith e con Priestley-Taylor

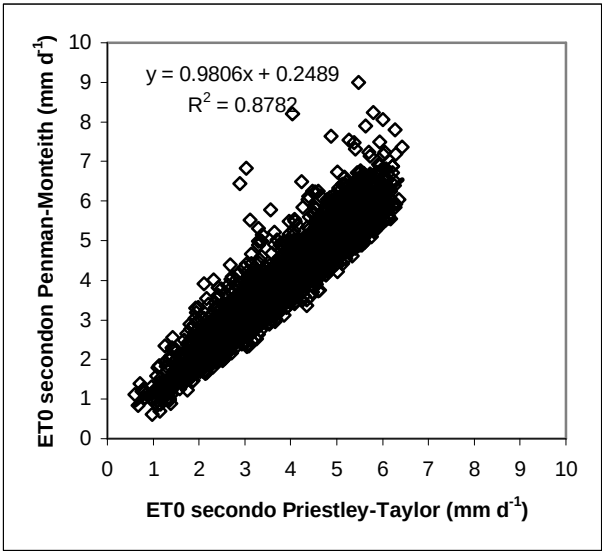
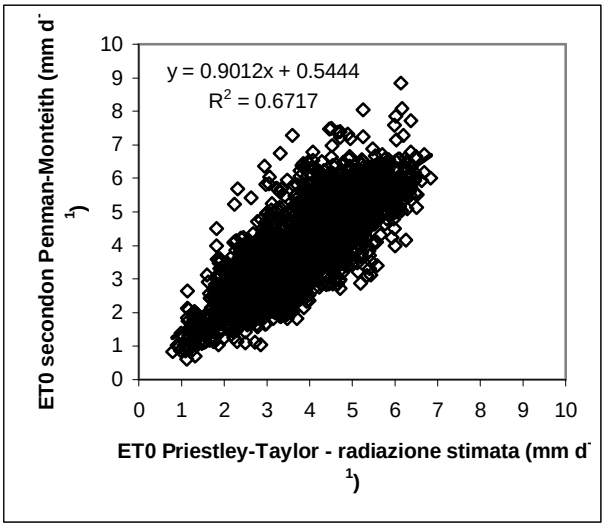
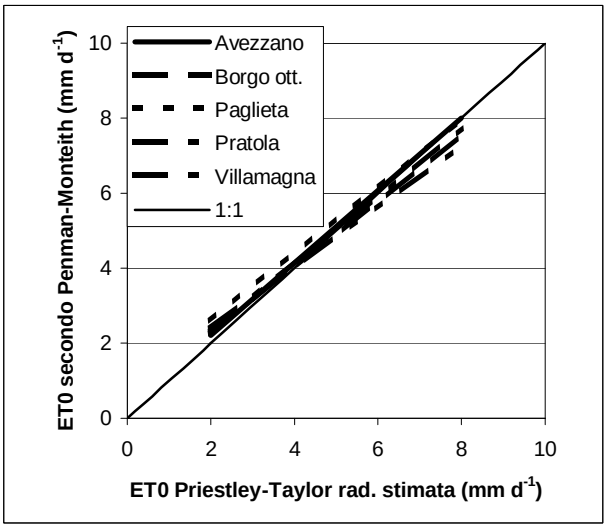


Figura 3 - Confronto tra l'ET0 calcolata con Penman – Monteith e con Priestley-Taylor usando la stima della radiazione di Bristow-Campbell





INDICI METEOROLOGICI PER IL CALCOLO DEL RISCHIO D'INCENDIO FORESTALE

V. Marletto[1], F. Ventura[2]
(1) ARPA-Smr, vmarletto@smr.arpa.emr.it
(2) Università di Bologna, fventura@agrsci.unibo.it

Riassunto
In questa nota cerchiamo di fornire un quadro aggiornato in merito alla produzione e disponibilità di indici meteorologici per il rischio di incendio forestale in Europa e in Italia. Attualmente presso il CCR (Centro Comune di Ricerca) di Ispra, Varese, vengono prodotte in tempo reale delle mappe di rischio d'incendio dell'Europa meridionale utilizzando tra gli altri gli indici di rischio implementati dal dipartimento di Agriselvicoltura dell'Università di Torino nel programma Eudic. Queste mappe vengono messe a disposizione delle protezioni civili nazionali e sono accessibili tramite un apposito sito web (http://natural-hazards.jrc.it/fires).

Abstract
This note tries to depict an up-to-date picture of the production and availability in Europe and Italy of forest fire risk maps based on meteorological indices. Presently such maps are produced in real-time by the European Forest Fire Risk Forecasting System at the JRC (Joint Research Centre) of Ispra, using a number of indices and algorithms some of which were originally implemented in the Eudic program by the University of Turin, department of Agroforestry. The real-time fire risk maps are available to the national civil protection authorities and are accessible from the web site http://natural-hazards.jrc.it/fires.

Introduzione

Questo contributo mira ad aggiornare i soci Aiam con qualche elemento informativo sul panorama della produzione operativa di indici di rischio meteorologico di incendio forestale in Europa e in Italia. Ci occuperemo soprattutto di quanto prodotto in questo campo in questi anni all'Università di Torino e al Centro Comune di Ricerca di Ispra non perché altri centri non abbiano fatto cose interessanti ma perché la normativa italiana in questo settore da quest'anno, con il DPCM 20/12/01 (GU 26-2-02 n. 48, "Linee guida…", v. rif. Internet n. 3), fa esplicito riferimento a questa linea di lavoro.

L'Europa e gli incendi forestali

L'Unione Europea ha "attaccato" il problema degli incendi forestali con il Regolamento del Consiglio n. 2158 del 23 luglio 1992, relativo alla protezione delle foreste nella Comunità contro gli incendi. Questo regolamento aveva, tra l'altro, l'obiettivo di creare un sistema informativo sugli incendi forestali. Questo obiettivo avrebbe dovuto essere raggiunto attraverso la raccolta di dati comparabili provenienti dai paesi membri. La regolazione pratica del sistema era descritta dal regolamento n. 804/94, che ha istituito una Base Informativa Comune (Common Core) e ha stabilito chiaramente che ogni paese membro doveva istituire un sistema informativo sugli incendi forestali rispettoso delle indicazioni del regolamento 2158.

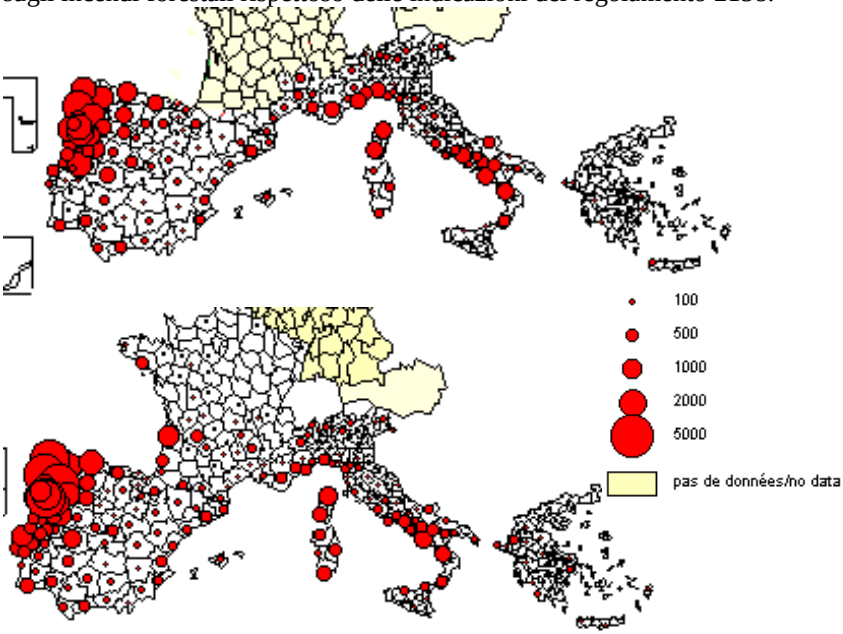


Figura 1. Numero medio annuale di incendi forestali: in alto 1985-91, in basso 1992-97 (fonte: europa.eu.int)

In questo momento comunque una banca dati europea vera e propria non esiste ancora e la materia degli incendi forestali è oggetto di un nuovo regolamento sul "monitoraggio delle foreste e delle interazioni ambientali" che dovrebbe entrare in vigore dall'anno prossimo rimpiazzando il 2158/92 e creando il sistema informativo europeo sugli incendi forestali (Effis, European Forest Fire Information System) che dovrebbe costituire

l’interfaccia aperta agli stati membri e ai servizi della Commissione su questo tema (San Miguel-Ayanz, com. pers., 2002).
Il sistema informativo comunitario sugli incendi forestali per ora riguarda 319 distretti amministrativi nei sei stati membri dell'unione a rischio d'incendio forestale: Germania, Portogallo, Spagna, Francia, Italia e Grecia. La figura 1 presenta due mappe tematiche realizzate a partire dai dati statistici sugli incendi forniti al sistema europeo dai paesi membri.
Il rischio meteorologico
Nell'ambito della rete europea di protezione civile (PNNC) l'Unione ha affidato al CCR lo sviluppo di un sistema di allerta sul rischio d'incendio forestale che include anche la determinazione del rischio meteorologico. A sua volta nel 1998 il CCR ha affidato all'Università di Torino, Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del territorio, la redazione di un programma per il calcolo del rischio meteorologico d'incendio forestale denominato EUDIC.

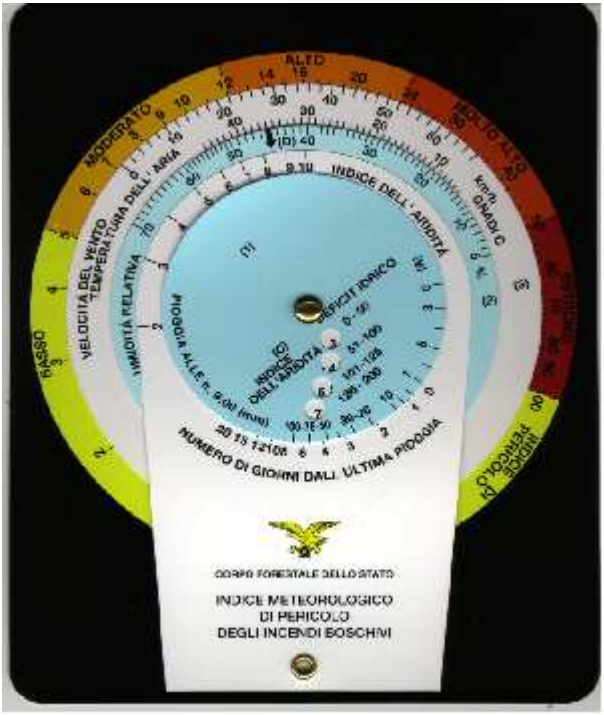


Figura 2. Corpo Forestale dello Stato, il regolo calcolatore dell’indice meteorologico di pericolo

Il programma calcola sei diversi indici meteorologici di rischio di incendio forestale. Gli indici hanno esigenze diverse in merito ai dati di base ed impiegano algoritmi di diverso grado di complessità. La scelta dell'indice da utilizzare è legata alla disponibilità di dati meteorologici ed alla diversa attendibilità stagionale degli indici stessi nei diversi ambienti. Il sistema attualmente in uso presso il CCR utilizza gli algoritmi Eudic implementati in un nuovo programma alimentato sia dai dati meteorologici del sistema Mars (interpolati su griglia di 50 km) che da previsioni MeteoFrance. Le mappe sono diffuse dal CCR alle protezioni civili nazionali della rete PNNP (v.sito http://natural-hazards.jrc.it/fires/risk/products/dynamic/euffis-test.html).
Gli indici "EUDIC" sono i seguenti:

- Portuguese Index
- ICONA Method
- Drouet-Sol Numerical Risk
- Italian Fire Danger Index
- Canadian Fire Weather Index (FWI), composto a sua volta da:
    - · Fine Fuel Moisture Code (FFMC)
    - · Duff Moisture Code (DMC)
    - · Drought Code (DC)
    - · Initial Spread Index (ISI)
    - · Build Up Index (BUI)
- BEHAVE Dead Fine Fuel Moisture Content

Di seguito diamo dei brevissimi cenni di descrizione di ciascuno degli indici rimandando a Camia e Bovio (2000) per una descrizione più estesa.

Indice portoghese (INMG, 1988)

Deriva da un indice originariamente sviluppato in Urss. Utilizza come dati meteorologici in ingresso temperatura dell'aria T12, temperatura di rugiada Td12 e velocità del vento (registrate alle ore 12) e le precipitazioni giornaliere. Consiste in una combinazione di tre indicatori numerici: il primo [I(i)] può essere considerato come un indice di innesco e dipende da T12 e Td12, il secondo [B(i-1)] è cumulativo (somma degli indicatori (I) dall'inizio della stagione, corretti in funzione delle precipitazioni del giorno precedente, il terzo [ifa(i)] è l'indice di rischio finale somma dei due precedenti con una correzione per il vento.

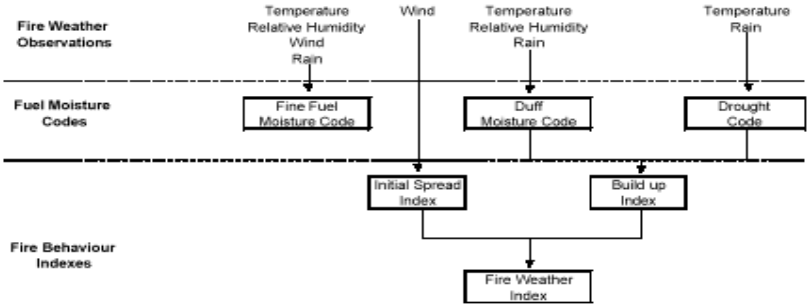


Figura 3. Flusso schematico del modello canadese FWI.

Indice ICONA (1993), Spagna:
Deriva da un metodo Usa per la stima dello stato del materiale combustibile. Utilizza come dati meteorologici in ingresso temperature T, umidità U, vento, caratteri topografici del sito ed alcune tabelle tramite le quali stimare con T e U l'umidità del materiale fine e determinare infine la probabilità di innesco. Il livello di allerta viene espresso in tre classi, considerando velocità e direzione del vento.
Indice Drouet-Sol (1993, Francia)
Utilizza in ingresso dati meteorologici già menzionati con l'aggiunta della nuvolosità. Il metodo consiste nella stima della temperatura del suolo e nel calcolo dell'Etp e dell'umidità del suolo, per giungere alla valutazione di un indicatore numerico di rischio corretto in funzione del vento.
Indice "Italiano" (CFS)
Deriva da un metodo Usa e da uno australiano integrati da Reifsnyder (1977) e trasformati dal Ministero dell'Agricoltura spagnolo in un regolo calcolatore poi tradotto in italiano dal CFS (figura 2). Oltre ai dati menzionati finora necessita del computo dei giorni dall'ultima precipitazione. Il metodo consiste nella stima del deficit idrico e dell'indice di aridità (funzione della pioggia, del n. di giorni dall'ultima pioggia e della temperatura massima) e nel successivo calcolo dell'indice di rischio (funzione dell'indice di aridità, del vento dell'umidità e della temperatura). Esiste una versione di questo metodo redatta in modo da evitare l'uso di regoli e tabelle (Ventura et al., 2001).
Indice canadese Fire Weather Index
Come si vede dalla figura 3, questo indice (Van Wagner CE, Pickett TL, 1987) è il risultato di una complessa procedura costituita dal computo di cinque sotto-indici diversi, tre dei quali servono a definire lo stato del combustibile mentre i due indici restanti si occupano della definizione della pericolosità dell'incendio. Si tratta del metodo più interessante tra quelli presi in esame in EUDIC anche se le variabili in ingresso non sono diverse da quelle già viste in precedenza: temperatura e umidità dell'aria, precipitazioni e velocità del vento.
L'indice BEHAVE (Usa)
Consiste nel computo del sotto indice FFMC canadese, che calcola lo stato idrico del combustibile fine, con una versione diversa dell'effetto delle precipitazioni. Le variabili usate sono le stesse del paragrafo precedente (Rothermel, 1986).
L'indice FPI (Usa/JRC)
Questo indice non è compreso nel pacchetto EUDIC, deriva da Burgan et al. (1998), rivisto e integrato da Sebastian-Lopez et al. (2000) del Centro Comune di Ricerca. Consiste nel computo delle condizioni idriche del combustibile previa stima e separazione della porzione secca da quella

fresca. Quest'ultima stima viene effettuata per mezzo di mappe dell'indice di verde NDVI ottenute a partire dai dati del sensore Avhrr posto sui satelliti meteorologici polari della Noaa. Per il calcolo è indispensabile disporre di una mappa della distribuzione territoriale del combustibile (ottenuta al JRC da CORINE Land Cover e dalla Natural Vegetation Map of Europe). Il prodotto ha una risoluzione di 4 km (legata alla risoluzione dell'NDVI). Oltre alla mappa del combustibile e all'NDVI, il calcolo necessita di Temperatura massima, umidità dell'aria, nuvolosità e precipitazioni. La figura 5 presenta due esempi di mappa FPI a uno e tre giorni.

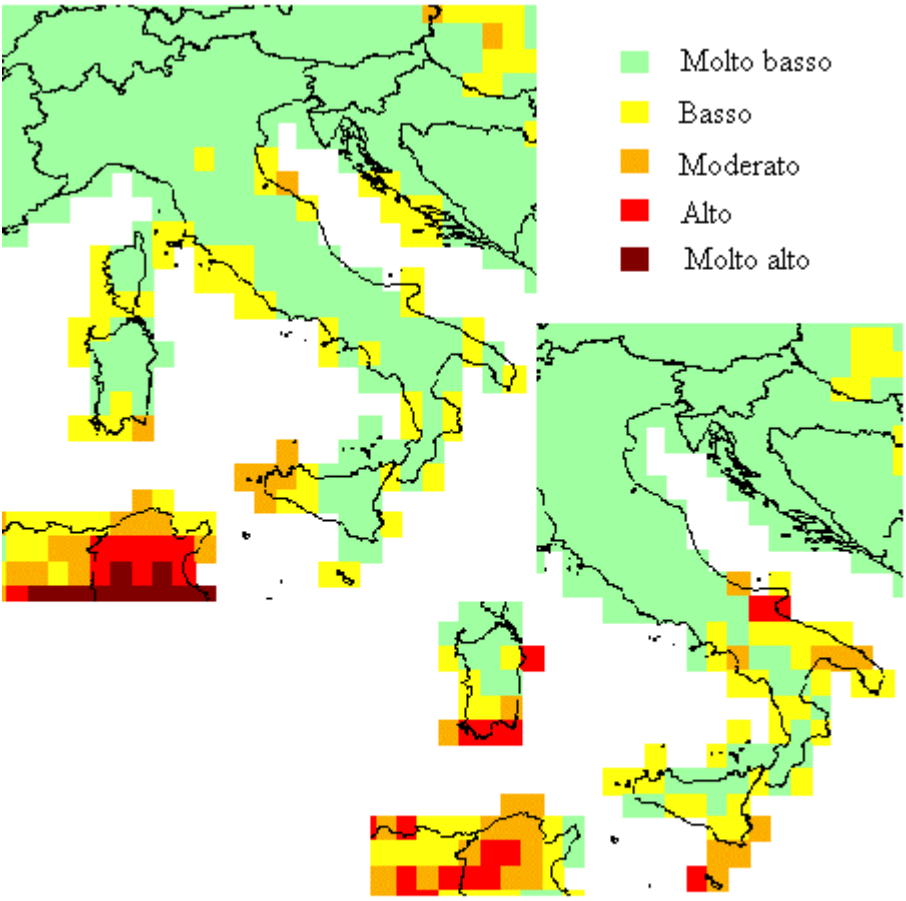


Figura 4. Mappa di rischio costruita presso il CCR di Ispra utilizzando l'indice canadese FWI per il 6 giugno 2002 (in alto), con previsione a 3 giorni (in basso)

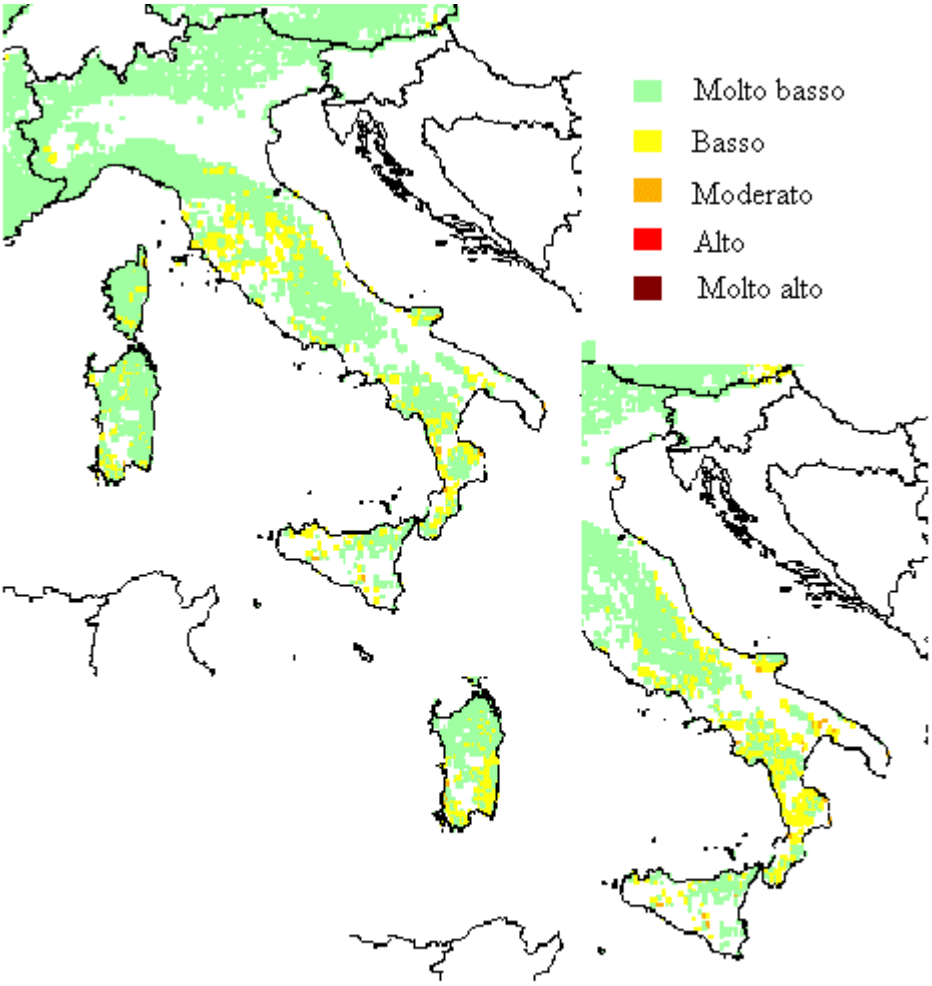


Figura 5. Mappa di rischio costruita presso il CCR di Ispra utilizzando l'indice FPI per il 6 giugno 2002 (in alto), con previsione a 3 giorni in basso).

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare per il loro cortese aiuto il prof. A. Camia, del Dip. Agriselviter, Università di Torino, il Dr. Guido Schmuck e il Dr. Jesus San

Miguel-Ayanz, del Centro Comune di Ricerca, Institute of Environment and Sustainability, e la dott.ssa Scipioni della Protezione Civile nazionale.

Riferimenti Internet

1. Università di Torino, Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del territorio, Gruppo di ricerca assestamento forestale e difesa dagli incendi boschivi
   http://www.agraria.unito.it/dip/agrose/forlegno/pianificazione/pianif.htm
2. Unione Europea, Centro Comune di Ricerca, Institute for Environment and Sustainability, http://natural-hazards.jrc.it/fires
3. Presidenza del Consiglio, testo delle "Linee guida relative ai piani regionali per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi": http://www.governo.it/sez_newsletter/documenti/incendi.html

Bibliografia

Burgan et al., 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observation. Int. J. Of Wildland Fire 8: 159-170.

Camia A., Bovio G., 2000. Description of the indices implemented in EUDIC software for the European meteorological forest fire risk mapping. Technical note, Joint Research Centre, Space Application Institute, Ispra, Varese.

Drouet J-C, Sol B (1993) Mise au point d'un indice numerique de risque meteorologique d'incendies de forêts. Forêt Mediterranéenne 14(2): 155-162.

ICONA, 1993. Manual de operaciones contra incendios forestales. Madrid, 5.1/65.

INMG, 1988. Nota explicativa sobre o Indice de Risco Meteorologico de Incendios Rurais. Divisao de Meteorologia Agrìcola, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofisica.

Reifsnyder WE, 1977. A fire rating system for the Mediterranean region. Fao/Unesco Technical Consultation on Forest Fires in the Mediterranean region".

Rothermel RC, Wilson RA, Morris GA, Sackett SS (1986). Modelling moisture content of fine dead wildland fuels: input to BEHAVE fire prediction system. USDA Forest Service, Research Paper INT-359, Intermountain Research Station, Odgen, Utah, pp 61.

Sebastian-Lopez et al., 2000. An integrated forest fire risk index for Europe. 20th Earsel Symp. Dresden.

Sol B (1990) Estimation du risque meteorologique d'incendies de forêts dans le Sud-est de la France. Revue Forestière Française, Nancy, n° spécial, 263-271.

Van Wagner CE, Pickett TL (1987). Equations and Fortran program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 33, Ottawa.
Ventura F., Marletto V., Zinoni F., 2001. Un metodo per il calcolo dell'indice meteorologico del rischio di incendio forestale. Sherwood, Foreste e alberi oggi, 7(6): 13-16.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI LAVORI

M. Borin
Università di Padova
Vicepresidente Aiam
maurizio.borin@unipd.it

Nel definire gli argomenti delle sessioni per questo nostro incontro, dedicato a "L'agrometeorologia del Mediterraneo", abbiamo scelto due temi apparentemente molto lontani, ma a tempo stesso strettamente collegati: "*Variabilità climatica e desertificazione"* per la prima sessione e "*Agrometeorologia per le colture protette e l'irrigazione"* per la seconda. L'ambizioso progetto era quello di studiare, con particolare riferimento all'ambiente mediterraneo, l'aleatorietà che il clima induce nelle attività agricole e le possibilità di controllo delle situazioni avverse da parte dell'uomo agricoltore.
I temi sono stati interpretati con differente competenza e sensibilità da parte dei relatori, che hanno proposto comunicazioni anche molto differenti: dalla funzionalità di un apparecchio dosatore dell'irrigazione in tunnel con Toller e Mattivi, agli indici per il calcolo del rischio di incendio con Ventura e Marletto; dalla bagnatura fogliare con i colleghi friulani alle analisi del regime termpluviometrico nelle regioni meridionali proposte dai colleghi siciliani.
E' stato così enfatizzato il concetto di variabilità, ampliato allo studio della variabilità territoriale. E' emerso quindi, ancora una volta, l'intimo legame clima-territorio-coltura, che genera una notevole ricchezza di situazioni una differente dall'altra. Con questo quadro, ricerca e assistenza tecnica devono sapersi integrare sempre al meglio, cosa che purtroppo succede di rado, per far fronte ai problemi specifici che di volta in volta vengono alla luce.
E' possibile, comunque, nella particolarità delle comunicazioni presentate, cogliere alcuni elementi di carattere generale.
A mio avviso, è emersa la necessità di usare un linguaggio comune quando si parla di tendenze del clima. I metodi utilizzati sono stati alquanto differenti, non sempre corretti o interpretati criticamente, e questo mi fa pensare alla opportunità di organizzare un incontro metodologico utile al riguardo. Potrebbe essere l'argomento di un prossimo workshop AIAM, magari organizzato in sinergia con le altre associazioni del settore.
Un secondo aspetto che vorrei sottolineare è il crescente ricorso all'impiego dei modelli di simulazione, applicati in questo caso prevalentemente all'analisi di serie storiche di dati meteorologici. Si tratta di una tendenza sempre più in uso nel settore dell'agrometeorologia, che, a mio avviso, dovrebbe stimolare una riflessione. Tutti sappiamo come i modelli siano

uno strumento potente ed affascinante, ma dobbiamo prendere maggiore coscienza che l'agrometeorologo non può limitarsi a stare seduto davanti ad un computer. C'è bisogno della pianta, che, invece, è scarsamente presente nelle nostre attività. Solo poche delle comunicazioni presentate al convegno hanno visto la pianta al centro dell'attenzione; in molte l'aspetto colturale è stato trattato marginalmente, in alcune si è parlato solo di climatologia. E' risaputo che uscire in campagna costa sacrificio ma, purtroppo lo ripeto da anni ai nostri incontri, ci sono solo pochi esempi di una proficua integrazione fra monitoraggio effettivo delle condizioni colturali in atto e simulazioni/previsioni eseguite al computer. Queste ultime, per essere veramente utili e significative, non possono prescindere dall'osservazione delle piante, che sono dei potenti indicatori ambientali. A tal proposito, l'organizzazione che si è data il giovane Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano appare ben orientata ad operare in questa direzione: auguri di buon lavoro. Nel frattempo, devo fare i complimenti per l'organizzazione del convegno e per la stimolate e ben fatta pagina Web.

In definitiva forse il convegno non ha risposto alle aspettative per quanto concerne il numero di contributi, ma ha comunque messo in evidenza la vivacità della nostra Associazione. Abbiamo al nostro interno molte competenze, diversificate e complementari; l'incontro è stato un'occasione per metterle in campo e condividerle. Ritengo si sia trattato di due giornate utili, di confronto e di dibattito. Personalmente, torno a casa arricchito, come spero avvenga per tutti i partecipanti. E se questa è la sensazione, significa che il convegno ha avuto successo.

CONCLUSIONI

F. Salvo
Regione Siciliana

A conclusione di questi due giorni di scambio di conoscenze scientifiche, tecniche e operative vorrei esprimere due brevissime considerazioni. La partecipazione, qui ad Acireale, di molti autorevoli rappresentanti del mondo accademico, della ricerca e della sperimentazione in agricoltura, e in particolare in agrometeorologia, a fianco dei numerosi tecnici e professionisti sia di base, sia specialisti del settore, testimonia anche la concreta esigenza di mettere a punto nuovi programmi di collaborazione specifici, per enfatizzare ancora una volta, e ancora di più, le diverse potenzialità applicative di questa nuova disciplina nella nostra regione e nelle regioni mediterranee. I pochi, ma buoni, tentativi del recente passato non possono che costituire, in tal senso, uno stimolo ad affinare i metodi e l'approccio. La recente situazione di deficit idrico, conseguente al lungo e severo periodo di siccità dell'ultimo anno, deve per esempio far pensare alla necessità sempre più pressante di predisporre dei programmi di collaborazione tecnico-scientifica nel campo dell'irrigazione e dell'uso attento e scrupoloso delle risorse idriche. L'agrometeorologia può in questo senso dare delle ottime risposte tecniche, come dimostrano i molti esempi applicativi diffusi un po' in tutto il mondo. I modelli di bilancio idrico aggiornati in tempo "quasi reale" e gestiti con le nuove tecnologie informatiche e telematiche sono delle applicazioni, in parte, note a tutti, ma non per questo si possono considerare delle tecniche di *routine* nelle nostre realtà operative aziendali. Il nostro compito è quindi quello di trovare le migliori soluzioni disponibili ad oggi, che sono sicuramente molto superiori a quelle di appena qualche anno fa, e metterle a disposizione delle aziende agricole in maniera tempestiva e chiara. E' in tal modo sicuramente possibile un concreto risparmio di acqua irrigua, che potrebbe alleggerire non poco la crisi del settore, a tutto vantaggio, prioritariamente, delle utilizzazioni civili e idro-potabili.

La nuova riorganizzazione dei servizi dell'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Siciliana, consente, tra l'altro, ancora più di prima tale percorso di collaborazione: si pensi in proposito alla nuova denominazione del Servizio di Assistenza tecnica e divulgazione agricola, che vede oggi istituzionalizzata la possibilità di seguire gli aspetti sperimentali e di ricerca applicata delle nostre attività, avvicinandosi quindi ulteriormente al mondo scientifico e accademico.

Analogamente a quanto visto per l'irrigazione, le diverse possibilità applicative disponibili dovranno pure interessare, principalmente, le

tecniche di difesa fitosanitaria delle colture. L'attenzione dei consumatori e dei cittadini verso le produzioni di alta qualità, è ormai altissima, anche e soprattutto per quanto riguarda la qualità sanitaria, legata ai ridotti, o assenti, valori dei residui di fitofarmaci nei prodotti.
Anche in questo campo, che peraltro già pare interessato da un trend positivo, legato ad una effettiva riduzione dell'uso dei fitofarmaci, si possono trovare delle buone soluzioni operative per le aziende, anche attraverso un ulteriore miglioramento delle collaborazioni fra i servizi di sviluppo agricolo e le istituzioni di ricerca.
L'avviamento operativo del SIAS costituisce per noi una grande risorsa tecnica e professionale specifica che si muove proprio in tale direzione.
Le buone dotazioni e infrastrutture tecnologiche consentono di guardare secondo un nuovo e più approfondito approccio all'analisi delle problematiche che più riguardano la nostra regione e alle conseguenti soluzioni innovative che ne possono derivare.
Si pensi in tale senso alle applicazioni del telerilevamento, che possono ad esempio fornire delle interessanti prospettive in merito allo studio dei fenomeni meteorologici estremi, quali la siccità o le gelate: due emergenze, per certi versi apparentemente contrapposte, che hanno recentemente interessato seriamente, in maniera evidente il territorio regionale. Prepararsi con gli strumenti idonei e con le migliori tecnologie disponibili ad affrontare tali ultime problematiche può costituire peraltro un punto di forza molto importante, anche pensando ai possibili futuri scenari dei cambiamenti climatici.
Con l'auspicio di rafforzare e rinnovare le opportune collaborazioni fra mondo operativo e ambiente scientifico chiudiamo i lavori del convegno, ringraziando tutti i partecipanti e dandoci appuntamento per il prossimo futuro per ulteriori iniziative altrettanto interessanti.

INDICE ANALITICO

A

Abruzzo; 120; 162
adattabilità pedologica; 94
Alternaria; 152
analisi di sensibilità; 73
aridità; 95
ARPA dell'Emilia Romagna; 151

B

bagnatura fogliare; 56
bilancio idrico; 70; 85; 96
biodiversità; 33
Bollettino Regionale dei pollini; 151
bollettino regionale dei pollini allergenici; 160

C

calendari pollinici; 151
cambiamenti climatici; 7
campionatori pollinici; 153
Capitanata; 132
Catania; 82
catena di Markov; 72
Centro Comune di Ricerca; 175
CERES-Wheat; 69
ciclo solare; 135
Climate Change; 133
CO_2; 82
coltura protetta; 111
colture ortive; 132
colture protette; 185
concentrazione pollinica; 158
Convenzione Internazionale per la lotta alla desertificazione; 34
copertura del suolo; 41
copertura nuvolosa; 62
crisi climatiche; 5

D

desertificazione; 6; 32; 95; 109; 185
difesa delle colture; 56
disponibilità idrica del suolo; 149
distribuzione gamma; 72
drenaggio; 112
DSSAT; 74

E

entità della siccità; 149
EPIC; 96
erosione; 95
Erosività delle piogge; 42
EUDIC; 177
evapotraspirazione; 70; 89; 112; 123; 149
evapotraspirazione di riferimento; 162
eventi termo-pluviometrici estremi; 74

F

FAO; 163
fasi fenologiche; 130
fenomeni erosivi; 32
fertirrigazione; 111
fisica biomedica; 8
fisica del terreno; 10
fisica dell'atmosfera; 8
Foggia; 136
fragola; 111
frumento; 69
frumento duro; 74

G

gas serra; 19
gelate; 74
generatore di dati meteorologici; 71
gradi ora; 47

H

Hargreaves; 162

I

incendi; 33
indice BEHAVE; 180
Indice canadese; 180
indice di aridità; 36
indice di umidità globale; 97
indice FPI; 180
indice ICONA; 180
Indice Italiano; 180
indici climatici; 32
indici meteorologici di rischio di incendio forestale; 175
INTERREG; 44
invaso d'Occhito; 134
irrigazione; 111; 136; 185
irrigazione a goccia; 112
irrigazione automatizzata; 112
irrigazione della vite; 120
isole urbane di calore; 30
Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura; 71

L

l'erosione; 38
LAI; 71
linguaggio comune; 185
lisimetro a drenaggio; 113

M

macchina a stati; 114
mappe di rischio d'incendio; 175
media mobile; 22
media progressiva; 20
melo; 46
micrometeorologia; 10
Milano Brera; 82
misuratore di portata; 111
modelli di simulazione; 185
modelli epidemiologici; 61
modello di Billaux; 96
modello di Bristow-Campbell; 162
modello di Thornthwaite e Mather; 96
Montepulciano; 120

N

NPP; 82
numero di giorni asciutti del suolo; 109

O

ondate di calore; 74

P

patologia allergica; 152
pedoclima; 95
pendenza; 40
Penman Monteith; 162
perdita di suolo; 38
Plasmopara viticola; 61
pollini allergenici; 151
pomodoro da industria; 132
pozzi a falda freatica; 137
prato polifita; 82
precipitazione; 94; 144
precipitazioni; 26; 136
precipitazioni di elevata intensità oraria; 42
Priestley-Taylor; 162
produttività primaria netta; 82
protezione civile; 177
Puglia; 132

R

radar; 56
regime idrico; 97
regime pluviometrico; 19; 33
regime pluvio-termometrico; 18
reti neurali; 158
rilievi fenologici; 46
riscaldamento terrestre; 19
rischio idrogeologico; 19
rischio meteorologico; 177
riserve idriche; 132

S

salinizzazione; 34
scenari meteorologici; 74
serie storiche; 185
Servizio Agrometeorologico Regionale della Sardegna; 34
Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale; 145
Servizio Idrografico Regionale; 20
Servizio Meteorologico dell'Aeronautica; 82
Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare; 72; 145
SIAN; 145
SIAS; 5; 188
siccità; 37; 67; 95; 144; 187
Sicilia; 144
sistema informativo sugli incendi forestali; 176
Soil Taxonomy; 96
sommatorie termiche; 47
Standardized Precipitation Index; 144
stato limite; 9
Stemphylium; 152
stima della radiazione solare; 162

T

telerilevamento; 188
temperatura; 26; 94
tendenze del clima; 185
test di Mann-Kendall; 22
Triticum durum; 7
tunnel; 111

U

Ufficio Centrale di Ecologia Agraria; 145
uva da vino; 120

V

variabilità climatica; 67; 120
Variabilità climatica; 185
volumi irrigui; 127

W

WXGEN; 71